OKOSVÁROS-TECHNOLÓGIÁK XIX.

Kvalitatív módszerek kritikus infrastruktúrák védelmében

Jakab László – Kocsis Imre – Gönczy László

Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Budapest

SZÉCHENYI 2020
Magyarország Kormánya
Európai Unió
Európai Szociális Alap
BEFEKTETÉS A JÖVŐBE

OKOSVÁROS-TECHNOLÓGIÁK
A technológia fejlődésének irányai és hatása
XIX. kötet

Sorozatszerkesztő:

Sallai Gyula

Jakab László – Kocsis Imre – Gönczy László

KVALITATÍV MÓDSZEREK KRITIKUS INFRASTRUKTÚRÁK VÉDELMÉBEN

Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Közigazgatási Továbbképzési Intézet
Budapest, 2020

A kötet a Nemzeti Közszolgálati Egyetem **KÖFOP-2.1.2-VEKOP-15-2016-00001** „**A jó kormányzást megalapozó közszolgálat-fejlesztés**” projektje keretében, a Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Karán létesült „**Okos város – okos közigazgatás**” kutatóműhelyben (2017/162/BME-VIK) készült.

Szakmai lektor:
Pataricza András egyetemi tanár, BME-VIK

Szerkesztette:
Gönczy László egyetemi adjunktus, BME-VIK

A kézirat lezárásának dátuma:
2018. január 31.

© Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Közigazgatási Továbbképzési Intézet, 2020
© Jakab László, 2020
© Kocsis Imre, 2020
© Gönczy László, 2020

A mű szerzői jogilag védett. Minden jog, így különösen a sokszorosítás, terjesztés és fordítás joga fenntartva. A mű a kiadó írásbeli hozzájárulása nélkül részeiben sem reprodukálható, elektronikus rendszerek felhasználásával nem dolgozható fel, azokban nem tárolható, azokkal nem sokszorosítható és nem terjeszthető.

TARTALOMJEGYZÉK

Bevezetés **6**

1. Kvalitatív modellezés célja és metodikai megközelítése **7**

1.1. Rendszertulajdonságok jellemzése 8

1.2. A kvalitatív modellezés alapgondolatának informális bemutatása 10

1.3. Bevezetés a kvalitatív következtetés módszertanába 16

1.3.1. Ok–hatás-következtetés *16*

1.3.2. A kvalitatív reprezentáció elvei *17*

1.4. A kvalitatív következtetés folyamata 18

1.5. A kvalitatív következtetés matematikai alapjai 18

1.6. A kvalitatív modellezés szerepe az életciklusmodellekben 21

1.6.1. Rendszerek és szoftvertermékek életciklusa *22*

1.6.2. Az életciklus részfolyamatai *24*

2. Kvalitatív következtetés a fejlesztési folyamatban **25**

2.1. A jellemzően a fejlesztéshez kapcsolódó folyamatok 26

2.2. Kvalitatív módszerek a fejlesztéshez kapcsolódó folyamatokban 27

3. Kvalitatív következtetés a működtetési és karbantartási folyamatokban **29**

3.1. Kvalitatív teljesítménymodell példa modern eszköztámogatással 30

3.2. Kvalitatív szimuláció 36

4. Kvalitatív modellek származtatása megfigyelésekből **40**

5. Kvalitatív modellek a kritikus infrastruktúrák védelmében **43**

5.1. Kockázati mátrix 45

5.2. Hibamód és -hatás analízise 46

5.3. Hibafaelemzés 46

5.4. Kvalitatív hibaelemzési módszerek értékelése 47

6. Esettanulmányok **48**

6.1. Elektronikus kormányzati/közösségi szolgáltatások 48

6.2. Elosztott (elektromos) vezérlőhálózat kockázatelemzése 50

6.3. Veszélyes anyagok szállításának kvalitatív kockázatelemzése 50

6.4. Repülőterek érzékenysége a globális felmelegedésre 52

6.5. Petrolkémiai ellátási lánc sérülékenységének kiértékelése 52

6.6. Okos parkolás szolgáltatás kvalitatív kockázatelemzése 53

6.6.1. Az okos parkolás technológiai kockázatainak bemutatása *53*

6.6.2. Az okos parkolás társadalmi kockázatainak elemzése *54*

6.6.3. Az okos parkolás gazdasági kockázatainak elemzése *54*

6.6.4. Kvantitatív és kvalitatív módszerek összehasonlítása *54*

7. Összefoglalás **55**

Irodalomjegyzék **57**

BEVEZETÉS

Jelen kismonográfia bemutatja a kvalitatív modellezési és elemzési megközelítések alapgondolatát és ezek alkalmazhatóságát az okos város szolgáltatásainak tervezésében és kiértékelésében.
A kvalitatív modellezés mint módszertan jól illik a döntéshozói/szabályozói gondolkodásmódhoz, ugyanakkor összekapcsolva a szolgáltatások igénybevételi adataival, jó alapot szolgáltathat a teljesítmény, teljesítőképesség és szolgáltatásbiztonság jövőbeni elvárt értékeinek tervezéséhez.

A szerzők:

Prof. Dr. Jakab László, a BME Villamosmérnöki és Informatikai Karának egyetemi tanára, dékánja (2016–2019), az Okos város – okos közigazgatás kutatóműhely szakmai vezetője. Villamosmérnök diplomáját a BME-n szerezte meg 1981-ben. A műszaki tudomány kandidátusa 1992-ben, habilitált doktor 2013-ban, az MTA doktora címet pedig 2014-ben szerezte meg. Jelenleg az Elektronikai Technológia tanszék munkatársa.

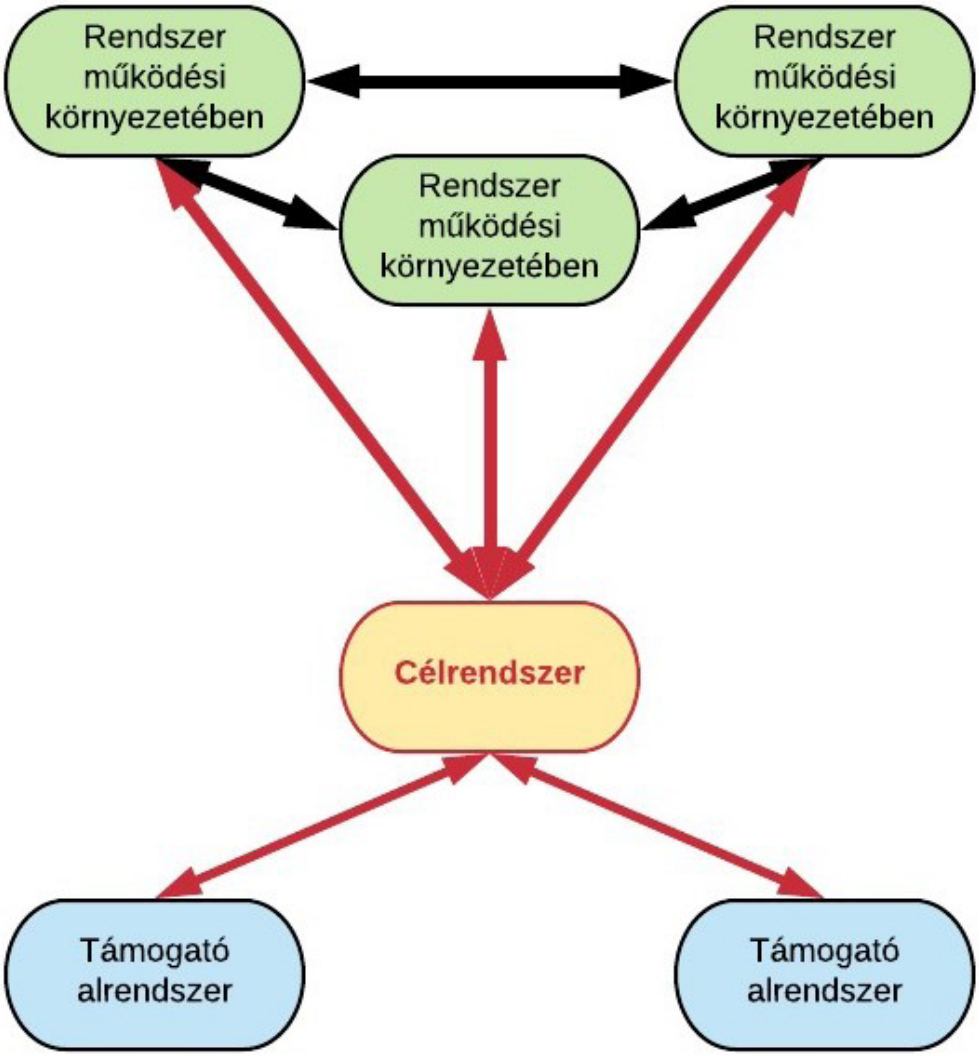
Dr. Kocsis Imre, okl. mérnökinformatikus, a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kara Méréstechnikai és Információs Rendszerek Tanszékének adjunktusa. PhD fokozatát a BME-en 2019-ben szerezte. Fő kutatási területe az elosztott megvalósítású informatikai szolgáltatások ellenállóképességre tervezése. Kutatásainak fő alkalmazási területei az „edge felhő” elemeket alkalmazó kiberfizikai rendszerek, illetve az elosztott főkönyvi rendszerek (Distributed Ledger Technology, DLT).

Dr. Gönczy László, okl. mérnökinformatikus és mérnök-közgazdász, a Budapesti Műszaki Egyetem Villamosmérnöki és Informatikai Kara Méréstechnikai és Információs Rendszerek Tanszékének adjunktusa. PhD fokozatát a BME-en 2019-ben szerezte. Fő kutatási területe üzleti és kritikus IT-rendszerek tervezése és elemzése, különös tekintettel adatvezérelt módszerek alkalmazására a teljesítmény és teljesítőképesség meghatározásában.

1. KVALITATÍV MODELLEZÉS CÉLJA ÉS METODIKAI MEGKÖZELÍTÉSE

Az okos * alkalmazásoknak (mint amilyen az okos város és az okos kormányzat) közös jellemzőjük, hogy mindegyikük **kritikus tömegkiszolgáló alkalmazás**, amelyek jellegzetesen létező önálló rendszerek integrációjával jönnek létre, rendszerek rendszerét (systems-of-systems) alkotva.

A jelen fejezetben vizsgált rendszerek tipikus felépítését az alábbi ábra mutatja.



1. ábra. Rendszerek felépítése.
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

Ebben példában a kialakítandó célrendszer (okosváros-felügyelet) három egymással is kölcsönhatásban lévő önálló rendszerhez kapcsolódik (közlekedésirányítás, járműirányítás és környezetmegfigyelés).
A célrendszer igényelhet alkalmazás támogató erőforrásokat, illetve szolgáltatásokat is (például további szenzorok, külső vagy dedikált kommunikációs rendszer, felhőbeli számítástechnikai erőforrások, illetve adatforrásként a meteorológiai előrejelzés).
Az ilyen rendszereknek a hozzájuk csatlakozó további rendszerekhez való csatlakozási felületeit, szolgáltatásait és együttműködését jól specifikálják, sőt gyakran jogi érvényű megállapodásba is foglalják.
A célrendszer kialakításakor további nehézséget jelent az, hogy az egyes részrendszerek birtokosai és üzemeltetői eltérők lehetnek; azaz nem lehet egységes központi irányítást megvalósítani.

1.1. Rendszertulajdonságok jellemzése

Egy kritikus funkciót ellátó e-rendszer tervezésekor a teljes életciklus összes lépcsőjének alapvetően végiggondoltnak, sőt ellenőrzöttnek kell lennie. Ezek a fő lépcsők: a koncepcióalkotás (specifikáció), fejlesztés, megvalósítás, használat, támogatás, illetve elavulás után megszüntetés (vagy új rendszerre történő átállás).
Ennek megfelelően tervezésükkor garantálni kell a megfelelő **szolgáltatásminőségüket** és – **biztonságukat**, hiszen funkcionálisan hibás működésük vagy elérhetetlenségük, de akár lassúságuk vagy meghibásodásuk is mind társadalmi-jogi, mind pedig műszaki-gazdasági szempontból jelentős kárt okozhat.
A szolgáltatásbiztonság definíciója szerint *„azon minőségi és mennyiségi jellemzők együttese, amelyek a felhasználó részére nyújtott szolgáltatás elérhetőségét és helyes működését igazolt módon garantálják”*(Avizienis–Lapire–Randell–Landwehr 2004, 13.).
A fenti definícióban kiemelt szerepet játszik a *„felhasználó részére nyújtott szolgáltatás“* kifejezés. Ez az összes követelményt arra vonatkoztatja, amit a rendszer működéséből a felhasználó érzékel.
A heterogén rendszerintegrációval létrejövő alkalmazásoknál azt is jelenti, hogy a célrendszer által nyújtott szolgáltatás minősége és biztonsága egyaránt függ az összes integrált vagy támogatásra felhasznált szolgáltatástól is.
Ez a függés annak összes következményével együtt független attól, hogy az egyes részrendszerek kinek a felügyelete alatt működnek (Hasonlóan a fővállalkozó–alvállalkozó relációhoz vagy a közvetített szolgáltatásokhoz).
Ennek megfelelően a célrendszer létrehozása során az általa igénybe vett szolgáltatásokat nyújtó részrendszereket alapvetően egységes módon kell figyelembe venni a szolgáltatásminőségi és -biztonsági aspektusokból.

Kiemelendő ugyanakkor, hogy a közhasznú szolgáltatások digitalizációjának elterjedésével mind a szolgáltatásminőségi, mind pedig a -biztonsági elvárások ugrásszerűen megnőnek a hagyományos rendszerekhez képest.

- Egy hagyományos (például okmányirodai) ügyintézés esetén ugyanis az 5-10 perces ügyintézési idő kiemelten rövidnek számít (és ekkor az okmányirodához való közlekedés időigényét még figyelembe sem vettük).
- Ezzel szemben az elektronikus ügyintézés esetében a felhasználók számára referenciaként a nagy kereskedelmi e-szolgáltatások néhány másodperces reakcióideje a mértékadó.

Ezt az e-ügyintézési időt akkor is elvárja a felhasználó, ha a rendszerben éppen terhelési csúcs alakul ki, például egy határidős ügyintézési feladat tömeges egyidejű végrehajtása miatt.
Hasonlóképpen a szolgáltatásbiztonsági elvárások esetében is az interneten szokásos jó kereskedelmi gyakorlat a mértékadó. Ugyanakkor az elektronikus kormányzati feladatok jelentős részénél az adatbiztonsági elvárások a legmagasabb kategóriába esnek.

További közös jellemzőjük, hogy erősen változó környezetben kell megfelelniük az ugyancsak változó igényeknek.

A közhasznú alkalmazások **terhelése** mind rövid, mind pedig hosszú távon erősen változik.

- Rövid távon a terhelés változásában erős szezonalitás érzékelhető.
  Például határidős feladatoknál a határidőt közvetlenül megelőző néhány napban a rendszerek terhelése sokszorosa lehet az ilyen időintervallumokon kívülinél.
- Hosszú távon egy rendszer bevezetése és elterjedése hasonló módon erőteljes felfutással jár még akkor is, ha nem írja elő törvényi kötelezettség annak kötelező használatát.
  Például az elektronikus számlázás esetében a fokozatos bevezetés mellett is várható a határidő környékén a rendszert érő lökésszerű terhelés, és a későbbiekben ez a fajta terhelés fokozatosan fog növekedni az e-számlázás egyeduralkodóvá válása során.

Az elégtelen **szolgáltatásbiztonság** (az ilyen rendszerek hibás működése) egyik oldalon politikai károkat okoz; ugyanakkor eredményezhet a szó klasszikus értelmében is kritikus szituációkat.

- Például az e-recept használatának elterjedése rendkívül jelentős költségmegtakarítást eredményez mindamellett, hogy a felhasználók számára a hagyományos vénykezelésnél lényegesen kedvezőbb opciót jelent. Azonban ha egy ilyen szolgáltatás kiesik és elérhetetlenné válik, beteg emberek ellátása forog kockán.
- Hasonlóan az okosváros-alkalmazások esetében egy-egy informatikai hiba vagy üzemkimaradás hatása sokszorosára erősödik az általuk vezérelt fizikai rendszerekre gyakorolt hatásuk által.
  Például egy közlekedésirányító vagy energetikai szabályozó rendszer kiesése jól érzékelhetően nagy mértékű gazdasági károkat tud okozni.

A fent vázolt kockázatok miatt az okos rendszereknek specifikálásuk, megvalósításuk és üzemeltetésük során két nagy csoportba sorolható követelményeknek kell megfelelniük:
A **funkcionális követelmények** fogalmazzák meg a rendszer logikai működésével szembeni elvárásokat: Mit kell a rendszernek elvégeznie? Ezek együttes teljesítése jelenti a megvalósított funkcionalitás logikai helyességét.
Az úgynevezett nem funkcionális vagy szerencsésebben **extrafunkcionálisnak** nevezett követelménycsoport szabja meg azokat a járulékos kívánalmakat, amelyek együttes teljesülése a logikai működés helyességén túlmenően a szolgáltatás elfogadhatóságát jelenti.
Ebbe a kategóriába sorolódnak az **időbeli** viselkedést előíró olyan tulajdonságok, mint az átbocsátóképesség (az időegység alatt elvégzett feladatok száma), a feladat-**végrehajtási idő** (a feladat beérkezésétől annak teljesítéséig szükséges időtartam hossza).
A **szolgáltatásbiztonság** primer jellemzői a **megbízhatóság** (amelyet az első meghibásodásig eltelt idő jellemez), illetve a **rendelkezésre állás** (amely a hibátlan működés összidőtartamának arányát jellemzi az összes működési időhöz viszonyítva).
Az **adatbiztonság minden okos rendszer esetében kiemelt extra funkcionális aspektus, amely olyan alapvető kívánalmakat fed le, mint az adatvédelem (azaz illetéktelen személy ne férhessen bizalmasnak minősülő adatokhoz, illetve ne manipulálhassa azokat, vagy azokon keresztül a rendszer működését), ne hiúsíthassa meg a rendszer szolgáltatásainak rendelkezésre állását stb.)**
Az okos alkalmazások közös jellemzője egy fizikai-műszaki és/vagy adminisztratív-gazdasági infrastruktúra csatlakozása az informatikai megoldáshoz. Az informatikai rendszer esetleges hibái közvetlenül hatnak a felügyelt, illetve vezérelt környezetre, sőt a hibák hatását azok sokszorosukra erősítik.
Ennek megfelelően a hibák hatásának felmérésére **kockázatanalízist** elvégzése szokásos, illetve kritikus esetekben kötelező. Ez a kockázatanalízis az egyes potenciális hibák előfordulási gyakoriságának és káros következményeinek együttes elemzésén alapul.

Okosváros-alkalmazásokban egy informatikai hiba vagy szolgáltatáskimaradás közvetett vagy közvetlen módon akár emberi életet veszélyeztető vagy jelentős gazdasági kárt okozó katasztrofális következményekkel is járhat.
A biztonságkritikus rendszerek alapvető szabványa, az ISO/IEC 61508 az ilyen hibák bekövetkezési valószínűségét extrém kis értékre (10-9 - 10-8) korlátozza, megfelelő védelmi konstrukciók alkalmazását előírva. A rendszerben potenciálisan eredő veszélyek elhárítását a **biztonságosság** fogalmával szokás jellemezni.
Természetesen az okos rendszerek többféle feladatot látnak el. A tervezési gyakorlatban ennek megfelelően az egyes szolgáltatásokat vagy szolgáltatástípusokat önállóan jellemzik, és ezekre fogalmazzák meg egy együttes követelményrendszerben a funkcionális és extrafunkcionális követelményeket.
Kiemelendő, hogy az extrafunkcionális követelményeknek való megfelelés minden esetben többleterőforrás-igénnyel jár, mi több, az informatikai infrastruktúra teljesítményviszonyai az egyéb extrafunkcionális követelményeknek való megfelelést is közvetlenül vagy közvetetten befolyásolják.
A garantált időbeli tulajdonságok maximális terhelés mellett is teljesülése nyilvánvaló módon kellő számítástechnikai kapacitást feltételez a háttérben.
Az időbeli követelményeknek való megfelelés különösen kritikus abban az esetben, ha az informatikai alkalmazás valós idejű módon avatkozik be a környezetébe. Például egy okosváros-alkalmazás esetében, ha az informatikai infrastruktúra alulméretezettsége következtében a rendszer valamely veszélyes szituációban nem tudja teljesíteni az elvárt reakcióidőt, sérül a biztonságosság, hiszen a veszélyhelyzet elhárítása nem történik meg kellő időben, ami potenciálisan katasztrofális következményekkel járhat.
A közvetett hatások az extrafunkcionális aspektusok mindegyikét érinthetik.
Az adatvédelem például többletkapacitást igényel, a hozzáférések ellenőrzésén, a gyakran alkalmazott titkosításon túlmenően például egy túlterheléses támadás elhárítása során. Ekkor nyilvánvalóan átmenetileg a szokásos működéshez szükségesen túlmenő erőforrásigény is fellép. Abban az esetben, ha a rendszerben nincs kellő teljesítménytartalék, a túlterheléses támadás sikeres lehet, akár az egész informatikai rendszer összeomlását eredményezve. Valós idejű alkalmazások esetén ez – a korábbi példában említettek szerint – közvetlenül veszélyezteti a rendszer biztonságosságát.
Ennek megfelelően az ilyen rendszereket mind terhelés, mind pedig szolgáltatásbiztonság szempontjából méretezni kell.
Amint a fenti néhány példa is illusztrálja, az extrafunkcionális aspektusok teljesülésének garantálása megfelelő számítástechnikai teljesítményt is igényel.
A jelen kismonográfia ezért egy olyan modellezési és elemzési metodika bemutatását tűzi célul, amely a teljesítményelemzés aspektusából vizsgálja az okos rendszerek szolgáltatásminőségének és -biztonságának garantált megalapozását. Külön fejezet ismerteti ezen elvek és módszerek alkalmazását a szolgáltatásbiztonsági vizsgálatoknál.
A komplex rendszerek vizsgálata műszaki szempontból is erőteljes kihívás, még akkor is, ha azokat ismert tulajdonságú komponensekből építik. Az ismertetett módszer az okos alkalmazások kialakításának teljes életciklusát támogatja. Szisztematikus módszert ad – a terhelési és teljesítményviszonyok kvalitatív jellemzését használva – az extrafunkcionális aspektusok vizsgálatára bonyolult rendszerek esetében is.

1.2. A kvalitatív modellezés alapgondolatának informális bemutatása

A problémamegoldó és -kezelő emberi gondolkodás két alapvető eszköze az **absztrakció** (azaz egy adott kérdés megértése és megválaszolása érdekében az annak szempontjából lényeges elemekről az irreleváns részletek leválasztása), illetve az általánosítás, azaz a hasonló jelenségek egy gyűjtőfogalom alá tagozása és egységes kezelése).

A hétköznapi életben is számos olyan jelenséggel, szolgáltatással találkozik a felhasználó, amelyek valamilyen mennyiségi változótól vagy változóktól függenek, de a változók értéke nem ismert pontosan, sőt csak durván becsülhetők.

A természetes gondolkodás megközelítése ilyenkor az, hogy a hasonló jellemzőkkel bíró példányokat egy-egy közös csoportba foglalják, és azokhoz egy közös gyűjtőfogalom mellett valamilyen minőségi értéket rendelnek.

- A kereskedelmi gyakorlatban erre példa a szállodák szolgáltatási színvonalát jellemző csillag besorolás, vagy
- a jog esetében a szabálysértésről a bűncselekményig terjedő súlyossági kategóriák.

Ezek valamely nehezen becsülhető érték helyett egy, a hasonló jelenségeket összefoglaló gyűjtőfogalmakhoz rendelnek egy minőségi értéket. A különböző gyűjtőfogalmakhoz rendelt minőségi értékek éppúgy rendezettek maradnak, mint az eredeti mennyiségi jellemzők.

A minőségi értékek tehát összehasonlíthatók, azaz úgynevezett ordinális típusú változók.

A fenti két példában

- egy négycsillagos szálloda elvárt szolgáltatási színvonala jobb, mint egy kétcsillagosé, illetve
- a bűncselekmény súlyosabb kategória, mint a szabálysértés.

E két egyszerű példa is jól mutatja, hogy az egyes csoportok kialakítása, a közös vonásaikat kiemelő gyűjtőfogalom hozzárendelése, illetve a rendezési reláció definiálása az adott problémától függ.
A rendezés matematikai értelemben hasonló összehasonlítást enged meg, mint az egész számok fölött, de ez az absztrakt modellezés nem őrzi meg az összes matematikai tulajdonságát (hiszen értelmetlen például két szálloda csillagjainak összegéről beszélni).
Természetesen az egyes értékekhez rendelt számok nem feltétlenül jelentenek sorrendezést.
A KSH népszámlálási adataiból képzett kisminta-adatbázisban például a korcsoport kategorizálása (év pontosságú felbontásban, tízéves lépésekben egy rendezett ordinális változó (például a 3 minőségi értékű csoport egyedei idősebbek a 2 jelzetűeknél).
A családi állapot (nőtlen, hajadon, házas, özvegy, elvált) viszont nem ordinális változó, hanem felsorolás típusú, hiszen ezek nem összehasonlíthatók.
Természetesen az nem kizárt, hogy ezek között valamiféle megkötések álljanak fent. Például az előidejűség reláció alapján ahhoz, hogy valaki özvegy legyen, előtte házasnak kellett lennie. Az ilyen struktúrákat részben rendezettnek hívjuk, és egy jó modellezési nyelvnek természetesen ezeket a megszorító peremfeltételeket tükröznie kell.

Kvalitatív változó	**Alapváltozó és kategorizálása**	**Kvalitatív értékkészlet**
KORCSOP	*Korcsoport*	*Rendezett kvalitatív értékkészlet*
	0–9	1
	10–19	2
	20–29	3
	30–39	4
	40–49	5
	50–59	6
	60–69	7
	70–79	8
	80–	9
CSPOT	*Családi állapot*	*Nem rendezett kval. értékkészlet*
	Nőtlen, hajadon	1
	Házas	2
	Özvegy	3
	Elvált	4

1. táblázat. Példa változó absztrakcióra.
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

Az egyes kategóriák elválasztására a tartományhatár fogalma szolgál.

A teljes modellezési módszertan alkalmazását egy jogi ihletésű példa mutatja be, amelyet a közlekedési szabálysértések bírságolásáról szóló kormányrendelet inspirált.

A jogszabály szerint a napi 9 órás maximális vezetési idő túllépését szankcionálni kell (ha az időhatár növelését külön szabály nem engedi meg).

- A szabálysértés besorolása annak súlyosságát kifejező kategóriákba történik (*RSJ = rendkívül súlyos jogsértés, NSJ = nagyon súlyos jogsértés, SJ = súlyos jogsértés, EJ = enyhébb jogsértés*).
- Az egyes kategóriákhoz a jogszabály megszabja a járművezető által fizetendő bírság összegét is forintban (*10 ezer Ft, 60 ezer Ft, 150 ezer Ft, 300 ezer Ft*).

Jól látható módon maga a jogszabály is kvalitatív absztrakcióban gondolkozik, hiszen az egyes súlyossági kategóriák egy-egy időintervallumot képeznek le egy-egy kvalitatív kategóriában. A súlyosság fokát például egy ordinális változó írja le (*EJ* < *SJ* < *NSJ* < *RSJ*).

Sorszám	Bírságolással érintett cselekmények, mulasztások		A súlyosság foka (RSJ = rendkívül súlyos jogsértés, NSJ = nagyon súlyos jogsértés, SJ = súlyos jogsértés, EJ = enyhébb jogsértés)	A bírság összege forintban
B	***Vezetési időszakok***			
	A 9 órás napi vezetési idő túllépése, ha a 10 órára történő meghosszabbítás nem megengedett			
B4	A 9 órás napi vezetési idő 50%-os vagy nagyobb arányú túllépése legalább 4,5 órás szünet vagy pihenő beiktatása nélkül	13h 30 szünet/pihenő nélkül	RSJ	300 000
B3	11 h …<13h 30		NSJ	150 000
B2	10 h ...< 11 h		SJ	60 000
B1	9 h <...< 10 h		EJ	10 000

2. táblázat. Példa kvalitatív tartományokra. Forrás: a szerzők saját szerkesztése

A kvalitatív absztrakció és az absztrakt modellek konkretizálásának kölcsönhatását a fenti jogszabály kialakításának egyszerűsített menete illusztrálja.
A jogszabályalkotó ezirányú szándékának létrejöttét az előzetes tapasztalatok, baleseti statisztikák, nemzetközi tapasztalatok és szokások egyaránt indokolhatják.
A folyamat első lépéseként tehát megszületik az a szándék, hogy a vezetésre megengedett idő túllépését szabálysértésként szankcionálja (a hivatkozott jogszabály ennél lényegesen részletesebb konstrukciókat tartalmaz, amelyekbe a leírás az érthetőség kedvéért nem megy bele).

Bár ez a lépés triviálisnak tűnik, ez már magában hordoz több döntést is:

- Eldönti, hogy a rendelkezésre álló jogi eszköztárból a részletszabály fókusza csak a szabálysértés.
- További döntés, hogy a szabálykövetés és -sértés elválasztása egyetlen kritérium (a vezetéssel töltött idő) alapján történik. Így ez az elhatárolás független a vezetői terhelést befolyásoló olyan további faktoroktól, mint a napszak, útviszonyok stb.

Ettől a ponttól kezdve a kialakítási folyamat az ábrán látható modellsorozattal jellemezhető.

Az alapvető döntést a *jogszabályalkotó* elvi döntését kifejező **„1. Durva kvalitatív modell”** foglalja össze.

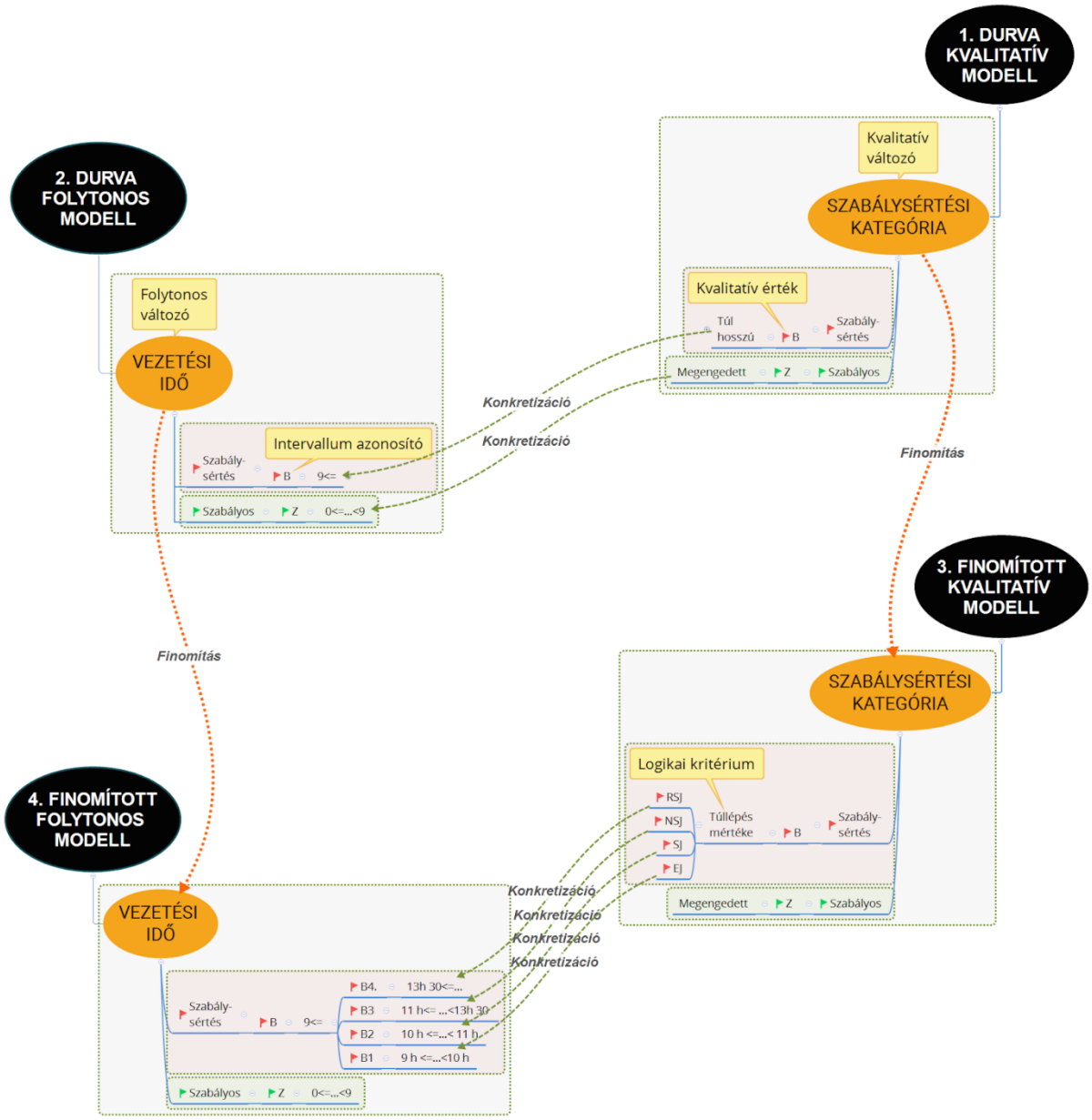
- Ennek hátterében az az elhatározás rejlik, hogy a túl hosszú vezetési időtartamot annak veszélyessége miatt jogi eszközökkel tiltani szükséges.
- Ennek egyetlen kvalitatív változójának értéke azt mutatja, hogy a jármű vezetője tevékenysége *illegális* (B) vagy *jogszerű* (Z). Az egyes kategóriákba történő besorolás kritériuma a vezetésre fordított időtartam hossza: „*túl hosszú*”, illetve „*megengedett*” (ahol a „*vezetésre fordított időtartam*” számítási módját a jogszabály külön részletezi).

A folyamat következő lépése ezt a kvalitatív modellt konkretizálja a „**2. Durva kvantitatív modell**”-é a megengedett vezetési időtartam felső értékének tartományhatár paraméterkénti felvételével (ebben a részesetben ez az érték 9 h).

Ez a lépés számos külső szakmai információ figyelembevételét jelenti a baleseti statisztikák elemzésétől az ergonómiai vizsgálatok eredményéig.

- A kvantitatív modell alapján a jogkövető és -sértő magatartás pontosan szétválasztható.
- A kvalitatív modell minden olyan országban érvényes, ahol korlátozott a vezetési időtartam, ilyen értelemben a különféle, hasonló jogi szabályozást alkalmazó országok előírásainak a konkrét megengedett időtartamtól független általánosítása. (Ez akkor is Igaz, ha egyes jogszabályok ennél komplexebb feltételrendszertől teszik függővé a limit konkrét értékét).
- A járművezető számára a jogtudatosság a kvalitatív modellnél kezdődik, mert ennek alapján tudomása van a megengedett vezetési idő felső limitjének létezéséről
- Ez a limit az EU szabályozása alapján az európai kontinensen egységes, de például más az USA-ban. Így a hasonló, de más megengedett felső határt alkalmazó szabályt alkalmazó külföldi országban a konkrét modellben rögzített tartományhatárt kell betartania.

A következő lépés a megengedett vezetési idő felső limitjének túllépését sorolja be. Ez a „**Törvénysértés fogalmi modell” alapján a jogszabálysértő magatartás szankcionálásának alapját képező „Szabálysértés” kategóriába esik, majd ezt hozzárendelve a kvalitatív modellhez létrehozza a „Besorolt kvalitatív modell”-t.**
A „Törvénysértés fogalmi modell” a szabálysértés súlyosságának figyelembevételével történő finomítása (alkategóriákra bontás) és annak a kvalitatív modellekhez való hozzárendelése létrehozza a „**Finomított kvalitatív modell**”-t.
Ezt követően a „**Finomított kvalitatív modell**” konkretizálásával létrejönnek a tartományhatárok konkrét értékei a „**Finomított kvantitatív modell**”-ben.
A folyamatot az ábrán az áttekinthetőség kedvéért nem részletezett, de az előző lépések logikájának pontosan megfelelő módon a büntetés hozzárendelése zárja.



2. ábra. Kvalitatív modellezés folyamata.
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

A kialakuló három kvalitatív modell (a jogsértés mértéke, szabálysértési besorolása és a büntetése) a 3. táblázatban láthatóan egységes logikát követ.
Mindhárom modell egyetlen, a súlyosság fokát kifejező és annak mértéke szerint rendezett, *Súlyosság = {RS = rendkívül súlyos, NS = nagyon súlyos, S = súlyos, E =enyhébb, Z = nincs}* ordinális kvalitatív változóval ábrázolható.
Önmagában ez a tény igazolja a jogszabály megfelelését a súlyosabb jogsértésért súlyosabb büntetést elrendelő alapelvnek. Ez a kritérium ebben az egyszerű példában nyilvánvalóan teljesül, azonban a komplex modellek formálisan is validálhatók, azaz az elvárt külső követelmények teljesítése matematikailag is igazolható.

Súlyosság	Túllépés	Jogsértés	Büntetés
RS = rendkívül súlyos	RST = rendkívül súlyos túllépés *≥ 4h 30*	RSJ = rendkívül súlyos jogsértés	RSB = rendkívül súlyos büntetés *300 000 Ft*
NS = nagyon súlyos	NST = nagyon súlyos túllépés *2 h …< 4 h 30*	NSJ = nagyon súlyos jogsértés	NSB = nagyon súlyos büntetés *150 000 Ft*
S = súlyos	ST = súlyos túllépés *1 h ... < 2 h*	SJ = súlyos jogsértés	SB = súlyos büntetés *60 000 Ft*
E = enyhébb	ET = enyhébb túllépés *0 h <...< 1 h*	EJ = enyhébb jogsértés	EB = enyhébb büntetés *10 000 Ft*
Z = nincs	ET = nincs túllépés *0 h*	EJ = nincs jogsértés	EB = nincs büntetés *0 Ft*

3. táblázat. Példa kvalitatív modellre. Forrás: a szezők saját szerkesztése

Megjegyezzük, hogy a példabeli konkrét modell abban az értelemben nem reprezentatív, hogy a jogszabály további mérlegelés lehetősége nélkül az egyes kategóriákhoz fix bírságot ír elő a **Büntetés modell**ben (ez matematikai értelemben egy nulla hosszúságú, azaz egyetlen pontból álló intervallumnak felel meg).
Általános esetben, amikor a jogszabály a büntetés alsó és felső határát megszabva mérlegelési lehetőséget ad), ez a kvalitatív modellt nem változtatja meg.
Kiemelendő, hogy egy komplex rendszer modelljének felépítése akár több szakterület tudását is integrálhatja, sőt az egyes részmodellek (például a jogszabálysértés hierarchikus modellje) újrahasználhatók.
A fenti példát kiegészítve a büntetéselrettentés hatásmechanizmusának modelljével vizsgálhatóvá válik az esetleges jogszabály-módosítás tervezett hatása.

1.3. Bevezetés a kvalitatív következtetés módszertanába

A kvalitatív következtetés (Qualitative Reasoning) módszerei a mesterséges intelligencia kutatások egyik területéhez tartoznak. A fentiek szerint a kvalitatív modellezés a jelenségek, illetve olyan, a valóságban folytonos mennyiségek, mint például a tér, az idő, a hőmérséklet leírására azok pontos matematikai és fizikai modellje helyett minőségi jellemzőket használ az eredmények helyes becslése, következtetése érdekében.

1.3.1. Ok–hatás-következtetés

A kiindulópont az emberi gondolkodás, amely a körülmények kvalitatív ismeretében képes megjósolni a következményeket, de visszafelé, a következményekből is jól meg tudja becsülni az okokat.

Jellemző példa a tűzhelyen felejtett vízzel teli teáskanna esete. A pontos mennyiségi jellemzők ismerete, úgymint a víz mennyisége, hőmérséklete és a tűzhely teljesítménye nélkül is meg tudja jósolni, hogy először a víz felforr, ha tovább a tűzhelyen hagyjuk, elpárolog, a teáskanna felforrósodik, hosszabb idő után a túlmelegedés miatt deformálódik.
Megfordítva az időben, ha látunk egy deformálódott teáskannát a tűzhelyen, nem tévedünk sokat, amikor előzményként az előbb felsorolt eseményeket feltételezzük. Valaki a tűzhelyen felejtette a teáskannát.

1.3.2. A kvalitatív reprezentáció elvei

A korábbiakban ismertetett modellezésben csak a vizsgált rendszer **statikus** állapota jelent meg.
A rendszerek érdemi vizsgálatához azonban szükség van a változások dinamikájának vizsgálatára is, hiszen a rendszerek és környezetük a korábbiakban leírtak szerint folyamatosan változnak, ezért a hatásanalízis célja mindig kiterjed a változások trendjének meghatározására és helyességének ellenőrzésére is.
A valós fizikai mennyiségek, például a folyó vízszintje mellett annak **változását is elemezzük, például ha esik az eső, a vízszint emelkedni fog.**
A kvalitatív modellben a centiméterben mért vízmagasság helyett elegendő a magas, közepes, alacsony vagy zéró vízállás megkülönböztetése.
A „sok” eső magas vízálláshoz, második lépésben áradáshoz vezet. Minden ilyen esethez esettanulmányok vagy egyszerűbb esetben **szcenáriók** készülhetnek, tapasztalatokból kiindulva, de lényegében számítógépes szimuláció felhasználásával. Erre a célra számítógépes programok, alkalmazások is hozzáférhetők a mesterséges intelligencia, kvalitatív következtetés vagy ok–hatás-következtetés módszertanában nem szakértő felhasználók számára is (például Garp3).
Lényeges, hogy a modellben olyan minőségi jellemzőket használjuk fel, amelyek a jelenség és a következtetés szempontjából relevánsak. Ha a víz hőmérséklete nem túl magas, a forráspont vagy például a forráspont légnyomástól függése nem releváns, érdektelen, mint például egy folyó esetén. A teáskanna példában, főleg magashegyi környezetben azonban ettől már nem tekinthetünk el.
Fontos megemlítenünk, hogy az egyszerűsítéseink sokszor az egyértelmű következtetések elvesztéséhez vezetnek. Ilyen esetekben be kell érnünk azzal, hogy a válaszok egy tartományát kapjuk eredményként.
Ez azt jelenti a gyakorlatban, hogy a szimuláció (a modell megfelelő felépítése) esetén feltárhatja *a potenciálisan nemkívánatos hatásokat, jelenségeket*, például a kockázatanalízis során.
A modellbeli egyszerűsítések miatt a szimuláció által szolgáltatott megoldások között lehetnek hamisak (amelyek a valós életben a részletes vizsgálatok szerint nem fordulhatnak elő), de az eredmények halmaza biztosan lefedi az összes, egyáltalán előfordulható esetet, *nemkívánatos szituáció – legalábbis a modell érvényességi körén belül – nem marad ki*.

A korábbiakban említett vízszint példát egy árvízvédelmi vizsgálatra alkalmazva:

- alapesetben a szimuláció végeredménye az, hogy a növekvő vízszint az {alacsony, közepes, magas} szint bármelyikéből indítva egy vagy több lépésben meghaladhatja a hasonló skálán modellezett gát szintjét és felméri annak a rendszer további elemeire (például okos város részmodell) gyakorolt hatását.
- Abban az esetben viszont, ha – egy külön részletes vizsgálat, vagy a priori tudás alapján – a gát biztos, hogy ellenáll az árvíznek, ez hamis megoldás.

Ekkor a finomított modellbe bevezetve a (gát_szintje > vízszint) megkötést, ez a hamis megoldás, az egész árvíz hatását leíró eredmény az újraszimulált modellből eltűnik.
A fenti példa is jól mutatja, hogy a kvalitatív következtetés módszerének egyik kiemelt előnye, hogy képes részleges információk alapján, a modellt iteratív módon finomítva minden lépésben hasznos eredményeket szolgáltatni.

A korai, durva modellek alapján végzett vizsgálat felhívja a figyelmet a részletesen megvizsgálandó esetekre. Ilyeneknél a modell finomítása után kapott eredmények valósághűsége javul, és a hamis megoldások halmaza szűkül.

1.4. A kvalitatív következtetés folyamata

A kvalitatív következtetés módszereivel folyamatokat vizsgálunk, a folyamatok eredményére akarunk következtetni. A modellt a következő lépésekben építhetjük fel.

1. Először meghatározzuk a folyamat struktúráját, a folyamatban résztvevő elemek kapcsolatát.
2. Ezekhez a kapcsolatokhoz valamilyen viselkedést rendelünk, majd
3. a viselkedések összesítése után most már szimulációs módszerekkel következtetésekhez jutunk.

A folyamatelemeket **entitásoknak** nevezzük, ezek lehetnek fizikai objektumok, vagy valamilyen absztrakt elemek, ezek alkotják a rendszert. A tulajdonságaik mennyiségileg is leírhatók, a folyamatok során a rendszer elemeinek kölcsönhatása következtében változhatnak. A mennyiségi leírásuk helyett azonban csak minőségi jellemzőikkel számolunk, *(alacsony, közepes, magas)* és *(csökkenő, növekvő)* értékekkel.
Az ágensek a modellezett rendszeren kívüli entitások, hatással vannak a rendszerre, annak működését és így a folyamatok eredményét is befolyásolják.
A rendszer részei a **feltételezések**, amelyekről azt gondoljuk, hogy igazak. Ezek lehetnek nagyon egyszerűek vagy magától értetődők is, például a folyamatosan melegített víz fel fog forrni.
Végül a modellhez tartozik maga a **konfiguráció**, amely lényegében az entitások és az ágensek közötti viszonyokat, kapcsolatokat rögzíti.

1.5. A kvalitatív következtetés matematikai alapjai

A kvalitatív aritmetikában, vagyis számtanban számok helyett előjelekkel, vagy általánosabb esetben intervallumokkal foglalkozunk (Van Harmelen–Lifschitz –Porter 2008).

Az egyszerűség kedvéért most csak az előjelek közötti egyszerűbb összefüggéseket mutatjuk be, bárki könnyen általánosíthatja a következő műveleteket, a *pozitív*, *nulla,* illetve *negatív* kifejezések helyett intervallumokat, tartományokat használva.

- Ha nem tudjuk például pontosan a hőmérsékletet, de ismerjük, hogy *nulla* fok felett van, akkor a értéke .
- Ebben az esetben a értékek a *kvalitatív jellemzők*, amelyeken műveletek végezhetők, úgymint az összeadás, kivonás, szorzás és osztás.

A 4. táblázat példa az összeadásra.

		X		
		+	0	-
Y	+	+	+	?
	0	+	0	-
	-	?	-	-

4. táblázat. Műveleti tábla az mennyiség kvalitatív aritmetikai meghatározására. Forrás: a szerzők saját szerkesztése

Láthatjuk, hogy a szokásos matematikai szabályok jellemzően jól leírják a helyzetet.

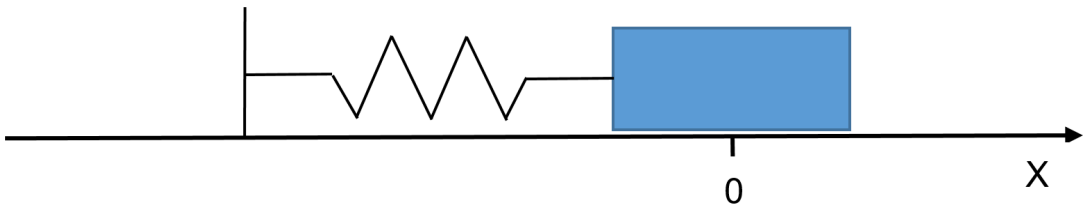
- Ha mind X, mind Y pozitív, akkor az összegük is az lesz.
- 0 hozzáadása egyik értéket sem változtatja meg,
- míg mindkét jellemző negatív értéke esetén az összegük is mínusz lesz.
- Újdonság viszont a ? elem, ami a meghatározatlan előjel, vagy a kétértelműség jele. A + és – pontos értékének ismerete nélkül nem tudjuk megmondani, összegük mi lesz.

Hasonló módon készíthetünk szorzótáblázatot is:

		X		
		+	0	-
Y	+	+	0	-
	0	0	0	0
	-	-	0	+

5. táblázat. Műveleti tábla az mennyiség kvalitatív aritmetikai meghatározására. Forrás: a szerzők saját szerkesztése

Ebben az esetben már nincsen bizonytalan eredményünk, a nullával szorzás eredménye minden esetben nulla, a különböző előjelek negatív, az azonosak pedig mindig pozitív eredményt adnak.
Az eddigiek alapján egyszerűbb folyamatok szimulációját is el tudjuk végezni. A példa legyen egy tömeg-rugó rendszer a következő ábra szerinti elrendezésben.



3. ábra. Példa: rugó mint kvalitatíven modellezett rendszer. Forrás: a szerzők saját szerkesztése

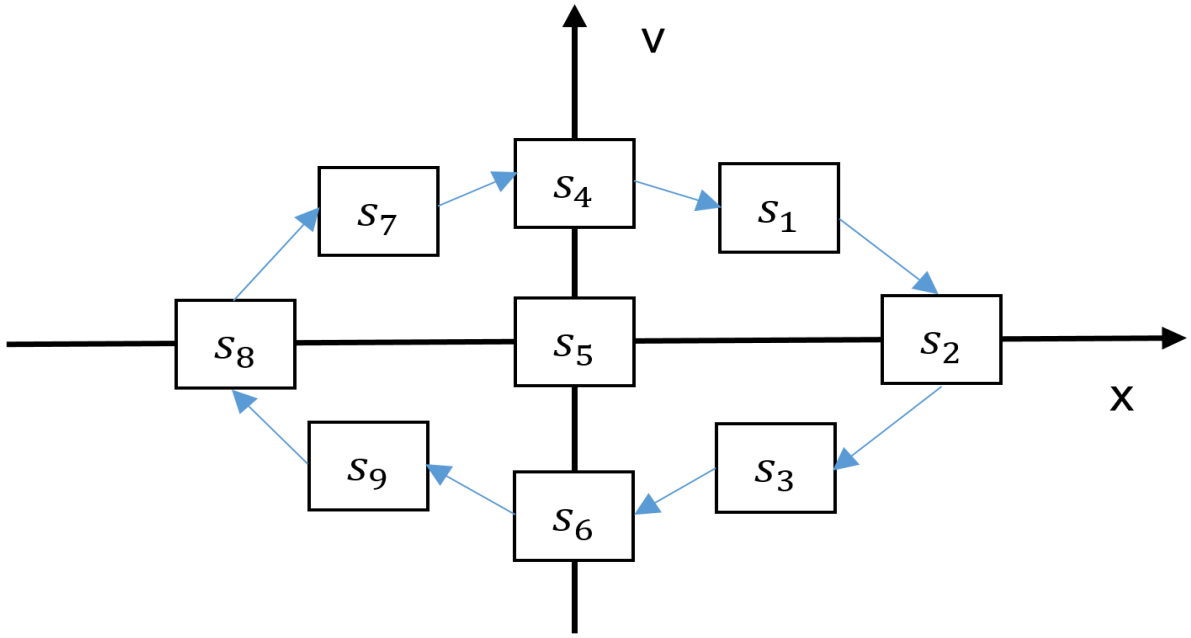
A súrlódási erőtől és a rugóveszteségektől az egyszerűség kedvéért tekintsünk el. *x* a tömeg pozíciója, értéke lehet pozitív, ha jobbra van a 0-val jelölt egyensúlyi helyzettől, és negatív, ha balra. *v* legyen a tömeg sebessége, *a* a gyorsulása, *F* a rugó ereje, *m* a test tömege, *k* pedig a rugó állandója.
A jelenséget pontosan leíró Newton II. törvénye és a rugóerőt megadó Hooke-törvény nélkül, tapasztalati úton is tudunk összefüggéseket találni az egyes mennyiségek között. Következtetéseinket az alábbi táblázatban foglaltuk össze:

	s_1	s_2	s_3	s_4	s_5	s_6	s_7	s_8	s_9
x	+	+	+	0	0	0	-	-	-
v	+	0	-	+	0	-	+	0	-
a	-	-	-	0	0	0	+	+	+
F	-	-	-	0	0	0	+	+	+

6. táblázat. Műveleti tábla a rugó kvalitatív modelljéről.
Forrás: a szerző által készített táblázat

s_1 – s_9 jelölésekkel különböztettük meg a rendszer állapotait.
Az állapot az egyensúlyi helyzet, ebből az állapotból a rendszert csak valamilyen külső hatással tudjuk kibillenteni.

Ábrázolhatjuk az állapotokat egy *x-v* koordináta-rendszerben is, az alábbi ábrát kapva:



4. ábra. Rendszer kvalitatív állapotai.
Forrás: a szerző által készített ábra

Az ábra az egyes állapotok közötti átmeneteket mutatja, jól látható, hogy a rendszer periodikus, oszcilláló viselkedést mutat, ha nem az állapotból indul.
Az és szélső kitérési helyzetben a tömeg sebessége nulla, míg az és egyensúlyi helyzeten áthaladáskor pedig pozitív, illetve negatív.
Láthattuk, hogy egyszerű modellek segítségével, a jelenségek mögötti kvantitatív fizikai modell nélkül is tudunk egy-egy rendszer viselkedésére következtetni.
Bonyolultabb rendszerek és folyamatok leírásához azonban olyan formalizmusra van szükségünk, amely egyrészt kellőképpen általános.

Általános a szó olyan értelmében, hogy alkalmas legyen igen különböző fizikai jelenségek reprezentációjára a legkülönbözőbb területeken.

- Az általánosság érdekében a kvalitatív modellezési nyelvek meg tudnak őrizni néhány olyan alapvető matematikai konstrukciót (természetesen a műveletekhez hasonlóan kvalitatív formában), mint az első (mérték változási iránya) és második derivált (a változás változásának iránya).
- Például az alábbi állítás közvetlenül átírható kvalitatív modellé: *„Az **eladósodottság** (kvalitatív mérték) **csökkenésének** (első derivált)* üteme ***erősödik** (második derivált).”*
- Hasonló módon kifejezhető különböző mennyiségek kapcsolata: *„Az eladósodottság csökkenése csökkenti a kamatterhet.”*
- Ugyanakkor modulárisnak is lennie kell, amelyben minden modul elég kicsi és független ahhoz, hogy sokcélúan felhasználható legyen különböző nagyobb rendszerekben, különböző szituációkban.

Az eredmény lehet az úgynevezett kompozíciós modellezés, amelyben modellfragmentek, modulok könyvtárból férhetők hozzá, amelyek az alábbi részekből állnak:

- **résztvevők** – az objektumok típusai, amelyek a folyamatban részt vesznek,
- **mennyiségek** – a jelenség leírásához,
- **feltételek** – amelyeknek a résztvevőknek meg kell felelni, hogy a folyamat végbemenjen,
- **következmények** – kvalitatív funkcionális összefüggések és következtetések.

A kompozíciós modellezés sikerének feltétele természetesen a fragmentek megfelelő kiválasztása.

1.6. A kvalitatív modellezés szerepe az életciklusmodellekben

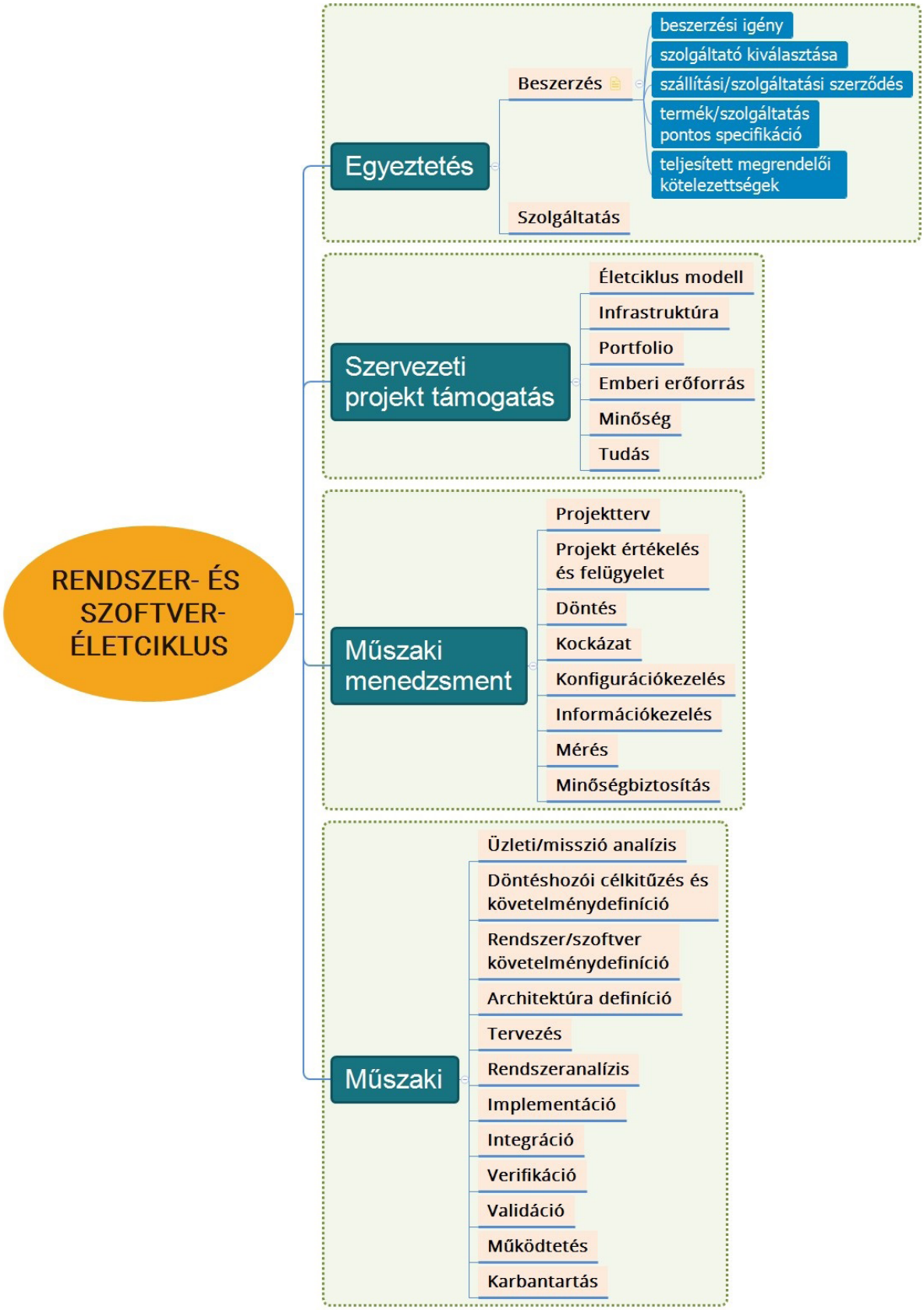
Az okos rendszerek, ezen belül az azokat támogató szoftvertermékek életciklusa definiálja a specifikálásuk, létrehozásuk, működtetésük és karbantartásuk különböző fázisaiban végzendő jellegzetes tevékenységeket. A kvalitatív modellezés (lehetséges) szerepét két okból érdemes az életciklus-fázisok kontextusában vizsgálnunk. Egyrészt a modellek alkalmazási módjai az életciklus-fázisok között jelentős eltéréseket mutatnak; másrészt viszont – különösen a „digitális iker” (digital twin) paradigma terjedésével – egyre inkább igaz az, hogy az életciklus korai fázisai során létrejövő modelleket a megvalósított rendszerhez kapcsolva tovább finomítjuk és karban tartjuk – azok bizonyos értelemben „együtt élnek” a rendszerrel. Így nem csak azt érdemes vizsgálni, hogy a kvalitatív modellek az egyes életciklus-fázisokban milyen alkalmazást nyerhetnek, amennyiben rendelkezésre állnak, de azt is, hogy az egyes életciklus-fázisokban létrehozott modellek miképp támogathatják későbbi fázisok modell alapú tevékenységeit. Az efféle elemzéseket természetesen nagyban megnehezíti, hogy az informatikai rendszerek életciklusát több különböző ismert modell köré is építhetjük. Szerencsére azonban léteznek általánosított, szabványos életciklusmodellek is. Ezek a fejlesztési, karbantartási és működtetési folyamatokat egységesen szemlélve részfolyamatcsoportokra bontják úgy, hogy a csoportosítás alkalmas a legfontosabb tevékenységek egységes szemléletű besorolására céljuk és metodikájuk alapján. Emellett ez a tagolás lehetővé teszi a részfolyamatok kapcsolatainak szabatos megfogalmazását is.
Az 5. ábra egy általános rendszer- és szoftveréletciklus modellt szemléltet, melyben a négy nagy csoport az **egyeztetés**, a **szervezeti projekt támogatás**, a **műszaki menedzsment** és a kifejezetten **műszaki** tevékenységek.

1.6.1. Egyeztetési folyamatok

Az **egyeztetési** folyamatok a külső és belső szervezeti egységek közötti megállapodások létrehozásának folyamatát írják le.

- A **beszerzési** folyamatok célja az egyes szervezeti egységek számára a követelményeknek való megfelelést garantáló módon a termékek és szolgáltatások bevonása.
  A folyamat célja (i) a beszerzési igény specifikálása (például közbeszerzési eljárás tartalmi előkészítése), (ii) egy vagy több szolgáltató kiválasztása; (iii) a felek közötti megállapodás létrehozása; (iv) a termék, illetve szolgáltatás pontos kiválasztása; illetve (v) a megrendelőnek az együttműködésből fakadó kötelezettségének teljesítése.
- A **szolgáltatói** folyamatok írják le a megrendelői követelmények kielégítését garantáló termékek, illetve szolgáltatások nyújtásának folyamatát.

A folyamat végeredménye (i) a megrendelői igény azonosítása; (ii) a beérkezett igényre (például közbeszerzési felhívásra) adott válasz kidolgozása; (iii) a megrendelő és szolgáltató közötti megállapodás létrehozása; (iv) a termék, illetve szolgáltatás megállapodás szerinti nyújtása; (v) a szállítói kötelezettségek kielégítése, illetve (vi) a termék vagy szolgáltatás szerződés szerinti átadása.
A kvalitatív modellezés szerepe a beszerzési folyamatokban leginkább *követelményspecifikációs* kontextusban merül fel (lásd 6. ábra), így velük kapcsolatban a későbbiekben a fejlesztési kontextusban ismertetett meglátások a mérvadóak.



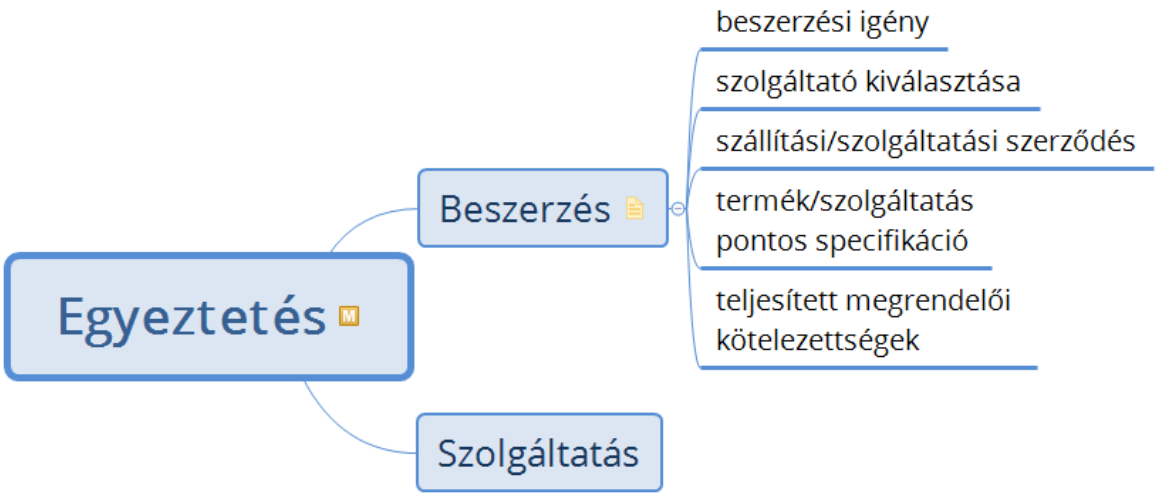
5. ábra. Rendszer- és szoftveréletciklus.
Forrás: a szerzők szerkesztése

1.6.2. Szervezeti projekt támogató folyamatok

A **szervezeti projekt támogató** folyamatok támogató rendszereket (például erőforrást és infrastruktúrát) nyújtanak a projektek kialakításához, végrehajtásukhoz és felügyeletükhöz. Céljuk annak biztosítása, hogy a szervezet képes legyen termékek és szolgáltatások bevonására, illetve nyújtására, a megfelelő minőségi követelmények mellett. Kiemelendő, hogy ezen folyamatok jellemzően nem kifejezetten egy-egy projekthez, hanem magához a szervezethez köthetők; a projektek szempontjából létfontosságú szervezeti háttérszolgáltatásokat nyújtanak. Külön is hangsúlyozandó részét képezik a következők.

- Életciklusmodell-menedzsment folyamat: a szervezet által használt életciklusmodellek, eljárásrendek és -folyamatok létrehozása és karbantartása.
- Minőségmenedzsment folyamat: a szervezet minőségmenedzsment folyamatainak és eljárásrendjeinek létrehozása, monitorizása és folyamatos javítása.
- Tudásmenedzsment folyamat: a szervezeti tudáselemek tudatos és folyamatos leltározása, követése, szervezeten belüli megosztása, projektekben újrahasznosítása és fejlesztése.

A kvalitatív modellek lehetséges közvetlen szerepe ezekben a folyamatokban tudásmenedzsment kontextusban jelentős; tanulmányunk keretein azonban sajnos túlmutat mind a „kvalitatív tudás menedzsmentjének”, mind a tudásmenedzsment kvalitatív technikákkal támogatásának diszkutálása.



6. ábra. Az életciklus-egyeztetés fázisának fő részei.
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

1.6.3. Műszaki menedzsment és műszaki folyamatok

A következő két fejezet – „kvalitatív következtetés a fejlesztési folyamatban” és „kvalitatív következtetés a működtetési és karbantartási folyamatokban” címmel – tárgyalja a kvalitatív modellek főbb alkalmazási lehetőségeit a műszaki menedzsment és műszaki folyamatokban.

2. KVALITATÍV KÖVETKEZTETÉS A FEJLESZTÉSI FOLYAMATBAN

Az előző fejezet bemutatta a kvalitatív következtetés mint eszköz alkalmazásának alapgondolatát az okos rendszerek életciklusában. Jelen fejezet röviden megvizsgálja a kvalitatív következtetés a rendszerfejlesztés során való alkalmazhatóságának lehetőségeit; a következő pedig a rendszerműködtetés és -karbantartás viszonylatában teszi ugyanezt.

Mint azt az előző fejezetben bemutattuk, a kvalitatív modellek alkalmazhatóságát a fejlesztés során a következő tulajdonságaik teszik indokolttá:

- Könnyen érthetőség és szemléletesség (absztrakció)
- Szakterületi fogalomrendszerek integrálhatósága
- Hierarchikus modellfinomítás támogatása
- Újrahasznosíthatóság
- Kvalitatív következtetéssel elemezhetőség

Korábbi – jogi – példánk érzékletesen szemléltette, hogy kvalitatív modellekkel különböző problémaaspektusok magas szintű fogalmi modelljei könnyen harmonizálhatók, illetve kapcsolatba hozhatók egymással. E példa a közérthetőség érdekében nem műszaki volt; valójában azonban könnyedén interpretálható általánosságban műszaki, és specifikusan okosváros-kontextusban is.
Tekintsünk egy okos, városi szinten integrált forgalomirányítási rendszert, amely egy külső szolgáltatótól fogadja közlekedési eszközök (például távolsági buszok) koordinátáit! Ha a buszok késései, elakadásai alapján a forgalomirányítás intelligens szabályozási beavatkozásokat is tehet (intelligens úthálózat sávjainak dinamikus buszsávvá átminősítése, más szolgáltatótól vészkapacitás aktiválása, lámpahálózat átkonfigurálása, utazók értesítése stb.), akkor saját kockázatait kezelendő fel fog merülni azon igénye, hogy a közlekedési eszközök elhelyezkedéséről a szolgáltató periodikusan, időkorláton belül adjon értesítést. Ezen elképzelt forgatókönyv esetén a jogi példa fogalmait a következőképp ültethetjük át:

A korábbi jogi példa fogalmainak műszaki példára átültetése

Jogi példa fogalma	Műszaki példa fogalma
Közösített (több szempont alapján kategorizáló) súlyosság-fogalom	Szolgáltatásiszint-szerződés (Service Level Agreement, SLA), kategorikus „kötelezettségszegés-súlyosság” fogalma
Túllépés	Szolgáltatás válaszidő-túllépés mértéke
Jogsértés	A forgalomirányító rendszer helyes működésében okozott probléma súlyossága
Büntetés	SLA-szerződés büntetési kategória

7. táblázat. A korábbi jogi példa és a műszaki példa egymásnak megfeleltethető fogalmai.
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

2.1. A jellemzően a fejlesztéshez kapcsolódó folyamatok

A fejlesztési folyamatok igen sokfélék; az előző szekcióban bemutatott ISO/IEC/IEEE 12207-2017 szabvány valójában életciklus-építőköveket, nem pedig specifikus életciklusmodellt ad meg. Visszautalva az előző szekció hierarchikus modelljére, szemléltetés céljából röviden jellemezzük a „fejlesztés” szempontjából talán legfontosabb tevékenységeket.

1. A ***műszaki menedzsment*** folyamatok célja informálisan az, hogy a műszaki tevékenységeket irányítsák; többek között: tervezéssel (költség, határidők, eredmények), teljesülési és minőségi ellenőrzéssel, kockázatelemzéssel és -követéssel, valamint döntéstámogatással. Kiemelten:
   - ***a. Projekttervezési folyamat***: a projektfolyamat tervezése, követése és szükség esetén újratervezése annak bemeneteivel, kimeneteivel és ütemezésével és eredményeivel.
   - ***b. Kockázatmenedzsment folyamat***: folyamatos tevékenység, amely egy rendszertermék vagy szolgáltatás teljes életciklusa során elemzi, priorizálja, kezeli és követi a kockázatokat; kapcsolódjanak azok akár rendszerek és szolgáltatások beszerzéséhez, fejlesztéséhez, karbantartásához vagy működtetéséhez.
   - ***c. Mérési folyamat***: célja a hatékony menedzsmentet lehetővé tevő és a termékek, szolgáltatások és folyamatok minőségét bizonyító, objektív adatok szolgáltatása.
   - ***d. Minőségbiztosítási folyamat***: célja annak biztosítása, hogy a létrehozott termék teljesítse a szükséges minőségi követelményeket. Jellemzően elfogadott, projekt és szervezeti szintű eljárásrendekre és folyamatokra épít, mint például a változási igények nyugtázása, felhasználók által bejelentett problémák elemzése és kezelése, illetve a követelménymegfelelőséget ellenőrző műszaki tevékenységek megfelelőségének ellenőrzése.
2. A ***műszaki folyamatok*** azok a tevékenységek, amelyek segítségével az igények alapján a szervezet terméket vagy szolgáltatást hoz létre, illetve üzemeltet. E tevékenységekre különösen érdemes „építőkövekként” tekintenünk; a szokásosan szakaszokra bontott életciklus során az alkalmazott fejlesztési/üzemeltetési folyamatmodelltől függ, hogy az egyes szakaszokban alkalmazzuk-e őket, és ha igen, miként. A gyakorlatban különböző alkalmazási területeken és különböző jellegű rendszerek esetén más és más életciklus-, illetve fejlesztési folyamatmodellt alkalmazunk, ami gyakran – különösen biztonságkritikus rendszerek esetén – szabványos és előírt módon használandó.
   - a. Üzleti/misszió elemzés: célja a megoldandó probléma vagy felmerülő lehetőség definiálása és a lehetséges megoldások halmazának, osztályainak definiálása.
   - ***b. A döntéshozói célkitűzés és követelménydefiníció*** célja, hogy egyértelműen azonosítsa és ellenőrizhetővé tegye a rendszerrel, illetve szolgáltatással szembeni követelményeket az életciklus különböző fázisaiban. Részét képezik funkcionális és extrafunkcionális követelmények is.
   - ***c. Rendszer/szoftverkövetelmény-definíció***: az elvárt képességek felhasználói szemléletű definíciójának műszaki követelményekre lefordítása.
   - ***d. Architektúradefiníció***: (magas szintű) megoldásarchitektúra tervezése a követelmények alapján.
   - ***e. Tervezés***: a rendszer elemeinek tervezése; eredményeképp minden olyan tervezési információ létrejön, amely a megvalósításhoz szükséges (például a követelmények rendszerelemekhez kötöttek, a csatolófelületek definiáltak stb.).
   - ***f. Rendszerelemzés***: mint a szabványban nevesített tevékenység minden olyan folyamatot fed, amely bizalmunkat a követelmények, az architektúra

és a tervek hasznosságában és integritásában növeli. Az életciklusban alkalmazásának helyétől és az elemzés „szigorúságától” függően bonyolultsága, formalizáltsága és eszközigénye igen tág skálán mozog.

g. ***Implementáció***: rendszerelemek megvalósítása. Bár az informatikának és a rendszertervezésnek ez a laikusok irányába legexponáltabb aspektusa (informálisan: a „programozás”), jelen kismonográfia szempontjából közvetlen jelentősége csekély.

h. ***Integráció***: a rendszerelemek a követelményeket és a terveket kielégítő, megvalósított rendszerré komponálása.

i. ***Verifikáció***: annak objektív eszközökkel bizonyítása, hogy egy rendszer vagy rendszerelem teljesíti a vele szemben felállított követelményeket. Szokásos szóhasználatban: annak bizonyítása, hogy „a terméket helyesen hoztuk létre”.

j. ***Validáció***: annak objektív eszközökkel bizonyítása, hogy a rendszer a szándékolt funkcionalitást nyújtja az elképzelt működési környezetében. Szokásos szóhasználatban: annak bizonyítása, hogy „a helyes terméket hoztuk létre”.

2.2. Kvalitatív módszerek a fejlesztéshez kapcsolódó folyamatokban

A kvalitatív modellek a fejlesztési folyamatokban alkalmazásának tárgyalásával kapcsolatban mindenképp érdemes észrevennünk, hogy

1. a **kvalitatív modellezés** mint a fejlesztés során modelltermékeket létrehozó tevékenység és
2. a **kvalitatív következtetés**sel végzett modellelemzés

alkalmazása egymáshoz nem kötött. Ma már egyre jellemzőbb, hogy az üzletmenet- vagy ügyvitelkritikus alkalmazásokat modellvezérelt módon fejlesztik (Model Driven Software Engineering); a fejlesztési folyamat során a rendszernek először a követelményekre reflektáló modelljei készülnek el, majd ezek többszintű finomítása és ellenőrzése után hozzák létre a rendszerelemeket, és történik meg ezek tesztelése és integrációja. (A modelleket ma már egyre inkább használjuk részlegesen vagy teljesen automatikus forráskód-generálásra is.) A **döntéshozói célkitűzés és követelménydefiníció**, a **rendszer/szoftverkövetelmény-definíció**, az **architektúradefiníció** és a **tervezés** során a követelmények a korábbi jogi példában megmutatott módon hierarchikus finomítása és fokozatos számszerű értékekhez kötése önmagában is egy olyan eszköz, amely jelentősen képes lehet növelni a folyamat és az eredménytermékek minőségét – még kvalitatív következtetés nélkül is. Ilyen esetekben a kvalitatív modellek sorozata egy visszakövethető argumentációs láncot ad, másrészt az ellenőrzési tevékenységek (főként az extrafunkcionális követelmények tesztelése esetében) alapját adhatja.
Emellett a kvalitatív modellek és modellfragmensek természetes tárgyát képezhetik a ***tudásmenedzsment*** folyamatnak, hiszen definíció szerint „a lényeget” megragadó, az alkalmazási esethez és környezethez kötött paraméterértékektől függetlenített leírásokat képeznek. Így könyvtárszerűen kialakíthatók például a

1. „szokásosan alkalmazott” követelmények,
2. architekturális elemek viselkedési modelljei (működési módok, hibaterjesztési tulajdonságok, ellenállóképesség stb.),
3. tipikus rendszerkörnyezeti modellek,
4. funkcionális és extrafunkcionális tesztforgatókönyvek vagy
5. működtetési stratégiák

egy „paraméterezhető” tudásbázisa; nagyon hasonlóan ahhoz, ahogy a rendszer- és szoftvertervezés során ma már nagyban hagyatkozunk ismert tervezési mintákra (design patterns).

A kvalitatív modellek következtetés stílusú elemzése a ***rendszerelemzés*** tevékenységbe sorolható, amely önmagában is egy több folyamatban segédkező elem lehet. Hasonlóan a rendszerelemzéshez általában, a kvalitatív következtetés alkalmazása lehet tökéletesen indokolt, de indokoltsága a ***projekttervezés*** során vizsgálandó – hiszen minden modellezési és modellelemzési tevékenység költségekkel jár (bár a kvalitatív módszerekkel ebből a szempontból viszonylag könnyű súlyúnak tekinthetők).
Kritikus infrastruktúrák védelmének támogatását elemzi a jelen kismonográfia utolsó előtti fejezete, az utolsó fejezet pedig esettanulmányokon keresztül tekinti át a kvalitatív elemzés szokásos módszereit és alkalmazásait.

3. KVALITATÍV KÖVETKEZTETÉS A MŰKÖDTETÉSI ÉS KARBANTARTÁSI FOLYAMATOKBAN

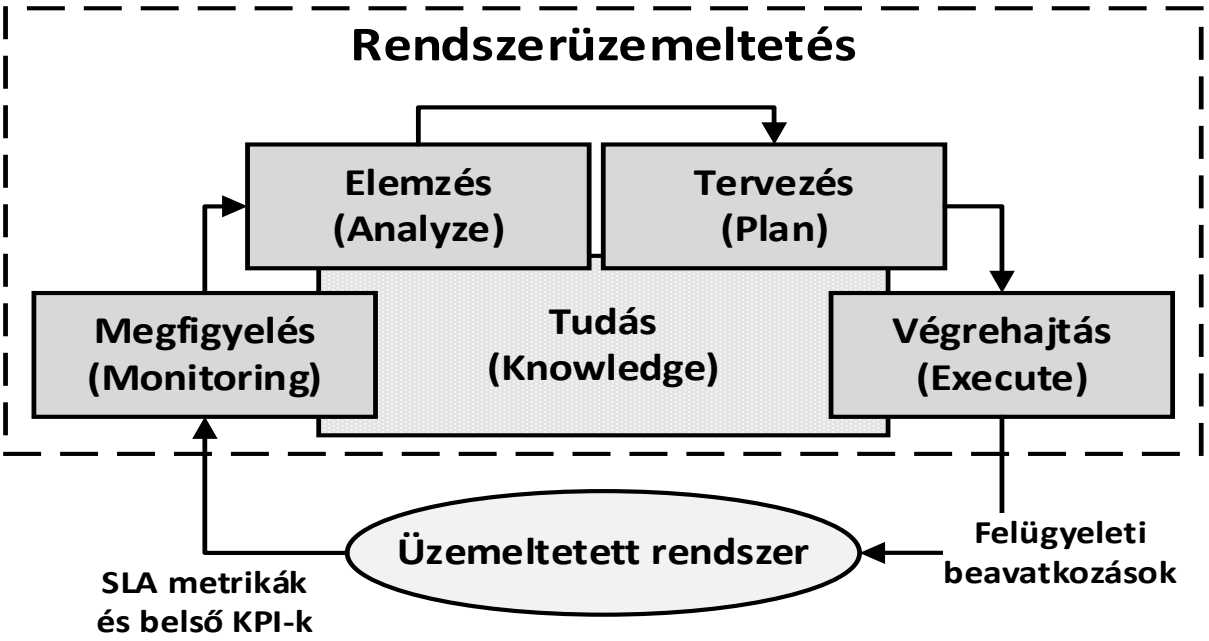
A jelen kismonográfiában alkalmazott, ISO/IEC/IEEE 12207-2017 szabvány a működtetést és a karbantartást műszaki folyamatként határozza meg, amelyeket ugyanúgy támogatnak a műszaki menedzsment, szervezeti projekttámogató és egyeztetési folyamatok, mint a jellemzően az életciklus fejlesztési fázisai során alkalmazott technikai folyamatokat.

1. ***Működtetési folyamat***: a működtetés során a megfelelő személyzet és műszaki erőforrások segítségével egy működtetési stratégia valósul meg. A stratégiának részét képezik a megállapodott extrafunkcionális jellemzők; kapacitások, rendelkezésre állás, válaszidő, adatbiztonság stb. és a „normális" működéstől eltérő helyzetek (erőforráshibáktól a rosszindulatú behatolásig) esetén követendő üzemeltetési forgatókönyvek is. A stratégia megvalósításának jellemzően kulcseleme a rendszer folyamatos és mélyreható (nem csak a rendszerszolgáltatásokat figyelő) monitorozása.
2. ***Karbantartási folyamat***: a rendszer szolgáltatásnyújtó képességének monitorozása, incidensek rögzítése elemzésre, javító, adaptív, tökéletesítő és megelőző tevékenységek végrehajtása.

A jelen kismonográfiát is jegyző kutatóműhely résztvevői a kritikus infrastruktúrák és az okos városok teljesítménymenedzsmentjének fő kihívásait és módszereit az IT rendszerek teljesítménymenedzsmentjének céljai, stratégiái és megközelítési módszerei, a kritikus szolgáltatások teljesítményének tervezése című kismonográfiában tekintették át. Így a rendszerüzemeltetetést mint önálló diszciplínát itt nem mutatjuk be; a kvalitatív módszerek üzemeltetési idejű alkalmazása iránt érdeklődő olvasónak javasoljuk a fenti kismonográfia áttekintését is.

A kvalitatív modellek szerepe a rendszerüzemeltetésben kiemelt jelentőségű. Mint azt a lenti ábra szemlélteti, a rendszerüzemeltetés során a rendszerrel szemben támasztott extrafunkcionális követelmények – így például a teljesítmény, megbízhatóság, rendelkezésre állás, ellenállóképesség – teljesülését jellemzően monitorozzuk, és a problémák észlelése esetén elemzés és beavatkozástervezés után proaktívan vagy reaktívan beavatkozásokat végzünk az SLA-sértések elkerülése érdekében (lásd a fentebb említett kismonográfiát).

A rendszerkomponensek, sőt sokszor teljes integrált rendszerek széles paramétertartományban hasonlóan működnek – például igaz az, hogy egy alkalmazás összeomlik, ha elfogy a rendelkezésére álló szabad memória, attól függetlenül, hogy eredetileg mekkora erőforráskiosztással indítottuk. Tehát ideális esetben a rendszer viselkedését leíró, a fejlesztés során követelményspecifikációra, tervezésre és validációra-verifikációra használt modellek egyszerű paraméterezésével juthatunk a felügyeleti logika létrehozására alkalmas modellekhez. A gyakorlatban ezen modellek sokszor nem léteznek; a felügyeletet tervező rendszermérnöknek kell őket létrehoznia, vagy felügyeleti eszközökbe építve, fragmensként elérhetők (például amikor egy monitorozórendszer kész szabályokat hordoz egyes rendszerelemekhez, amelyeket azonban riasztási határértékekkel paraméterezni kell).



7. ábra. Rendszerüzemeltetés mint szabályozási kör.
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

A kvalitatív modellek felügyeleti alkalmazására a következőkben egy példát dolgozunk ki, amely egy egyszerű webkiszolgáló teljesítményét modellezi a terhelés függvényében. A kiszolgáló üzemszerű működés esetén a processzor kihasználtsága arányosan növekszik a terheléssel (például másodpercenkénti oldallekérések száma). Amikor a terhelés elér egy adott telítési – szaturációs – pontot, a kiszolgáló elkezdi az oldallekéréseket visszautasítani, az eddig a pontig nulla kiszolgálási hibaráta növekedését okozva. Mindeközben a hasznos áteresztőképesség (goodput) is elkezd csökkenni, hiszen a kapacitásfeletti kérések visszautasítása is processzor-erőforrásokat igényel (bár lényegesen kevesebbet, mint az oldalkiszolgálás). Másrészről például az is „ismert", hogy a memóriahasználat az adott kiszolgálómegoldásnál a terheléstől csak csekély mértékben függ, állandónak vehető.
Bár ez a mai ipari gyakorlatban egyelőre nem jellemző, a példánk által alkalmazott formalizmus és eszközkészlet szándékoltan olyan, hogy a modellezés mellett támogatja a kvalitatív következtetést is. A példa bemutatása után röviden áttekintjük a kvalitatív modell és az a feletti következtetések alkalmazásának lehetőségeit a rendszerüzemeltetés kontextusában.

3.1. Kvalitatív teljesítménymodell példa modern eszköztámogatással

Példamodellünket a Garp3 alkalmazásban állítjuk össze. A Garp3 egy modern grafikus eszköz, mely lehetőséget biztosít kvalitatív modellek építésére, szimulációjára és vizsgálatára (Bredeweg et al. 2007).

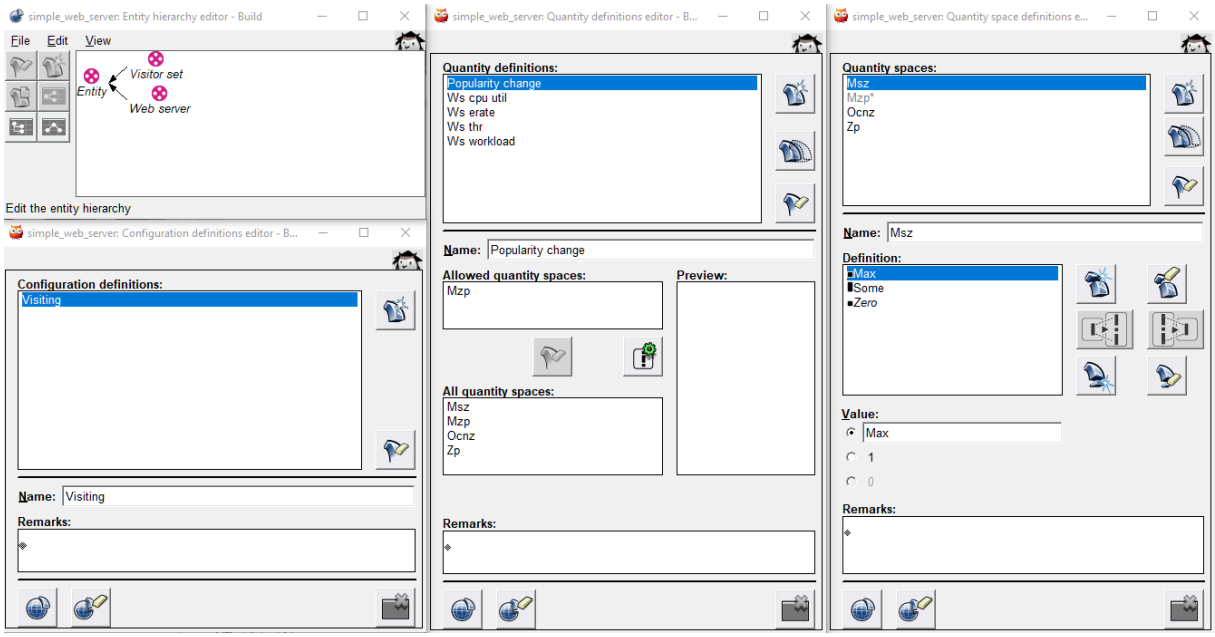
Az eszköz modellezési és elemzési paradigmája a következő három fő funkciócsoportra osztható:

- Alapvető modellelemek (viselkedési és szerkezeti) modellezése
- Az alapvető elemekből komponált aggregátumok: forgatókönyvek és részmodellek
- Modellszimuláció

Az alapvető modellelemek írják azt le, hogy

- milyen (fizika vagy logikai) entitás-típusok és
- ezek közötti kapcsolatok (konfigurációk) léteznek a modellezett területen,
- az entitásokon milyen kvalitatív mennyiségeket (quantity) értelmezünk,
- és a kvalitatív mennyiségeknek mi a kvalitatív értékkészlete (quantity space).

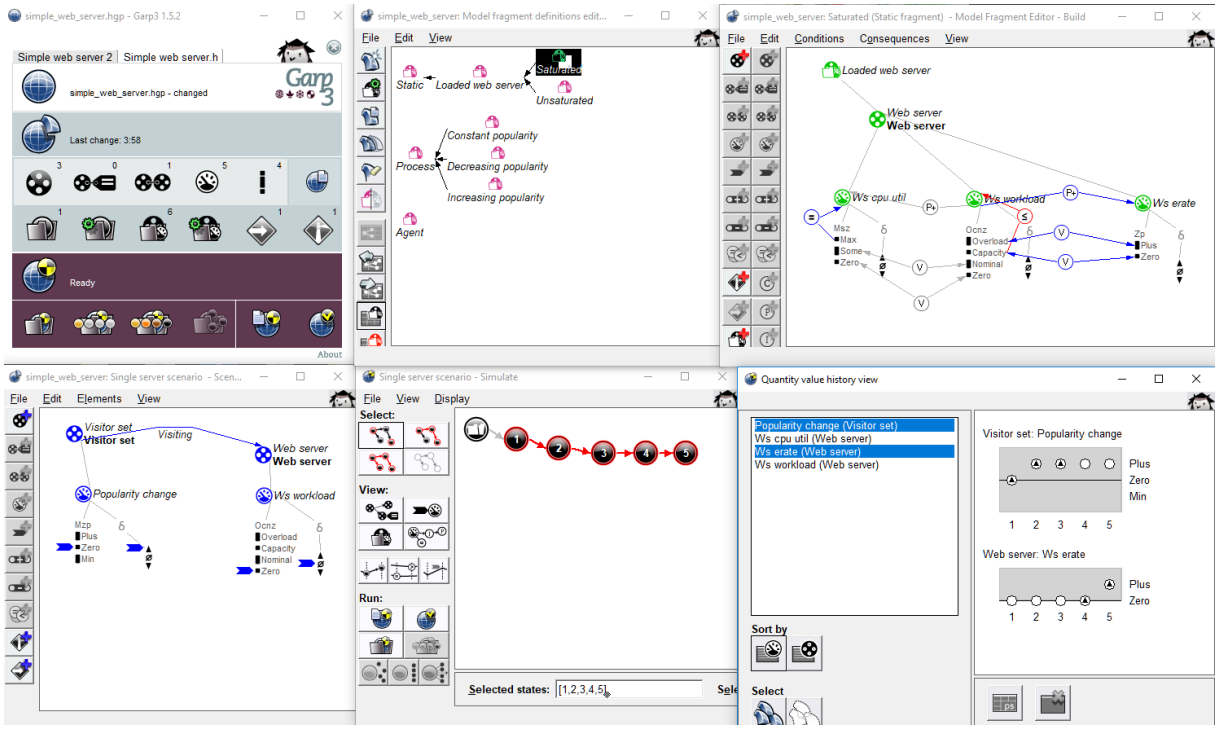
Ezeket látjuk például a következő két ábrán, ami azt mutatja, hogy webkiszolgálókat és azokat látogató felhasználóhalmazokat modellezünk, a kvalitatív állapot fogalmat pedig egyrészt a webkiszolgáló jellemzőire (processzorkihasználtság, munkaterhelés, áteresztőképesség és hibaráta), másrészt a weboldal népszerűségének változására mint kvalitatív változóra építjük. (Néhány bonyolultabb modellelem-kategóriát, mint például az ágenseket és az előfeltételezéseket példánkban tudatosan nem használunk.) Első lépésben a modellezést végző szakértő azonosítja a webkiszolgálót mint kvalitatív jellemzőkkel – és ezen keresztül kvalitatív állapottal – rendelkező objektumot. Statikus – tehát rendszerszerkezetet, és nem folyamatot – leíró részmodell jellemzi ezt. A részmodell nemcsak azt adja meg, hogy a kiszolgálót az erőforrás-kihasználtsága, terhelési állapota és hibarátája jellemzi kvalitatívan, de azt is, hogy a terhelés növekedésével a CPU-kihasználtság is növekszik, és hogy a terheletlen esethez nulla erőforrás-használat, míg a tervezett kapacitáson belüli, nominális terheléshez „nem maximális erőforráshasználat” kapcsolódik. Ezt szemlélteti az 8. ábra, a kvalitatív arányosságot P+-szal, a kvalitatív értékmegfelelőséget pedig V-vel jelölve. (Figyeljük meg, hogy a kvalitatív modellezés korábban bevezetett alapelveinek megfelelően a landmarkok és az azok közötti intervallumok külön-külön részállapot-értékként jelennek meg.)



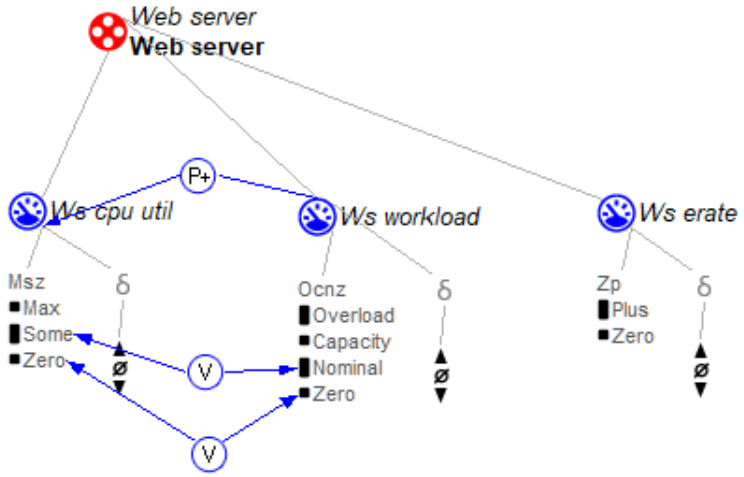
8. ábra. Alapvető modellelemek szerkesztése a Garp3-ban.
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

A két fő aggregátumkategória a részmodellek és a forgatókönyvek. (A részmodellek angol terminológiában *model fragments; a továbbiakban ennek megfelelően fragmensekként is hivatkozunk rájuk.) A részmodellek segítségével könyvtárszerűen, modulárisan és hierarchikusan finomítva ragadhatjuk meg a szakértői tudás egy-egy kulcsfontosságú aspektusát.*

Különösen fontos észrevennünk, hogy ez a részmodell általános érvényű abban az értelemben, hogy általános értelemben véve írja le a webkiszolgálók működésének egy aspektusát; így ha egy forgatókönyvben több, egymásra hatással lévő webkiszolgáló működését szeretnénk vizsgálni, úgy a modell egyszerűen „beemelve" tetszőleges számú példányban alkalmazható lesz. Azt is érdemes kiemelnünk, hogy ha az entitásmodellezésnél a webkiszolgáló-típust tovább bontjuk – például gyártó szerint –, az általános fogalmon értelmezett viselkedési specifikáció a közös őstípus miatt ezekre is alkalmazható marad. Ez a típushierarchiákat és az aspektusok különálló, „fragmensenként" modellezését támogató megközelítés az informatika objektumorientált alkalmazásfejlesztési módszereit idézi, az újrahasznosíthatóság és a modellezési feladatok dekomponálása szempontjából nézve nagyon hasonló előnyökkel.



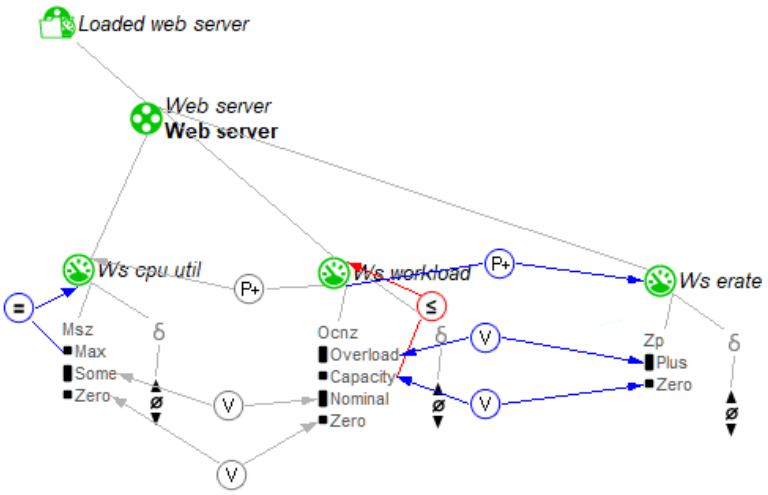
9. ábra. Kvalitatív részmodellek szerkesztése (fent) és szimulációja (lent) a Garp3-eszközben.
Forrás: a szerzők saját szerkesztése



10. ábra. Webkiszolgáló első szintű, részleges modellje.
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

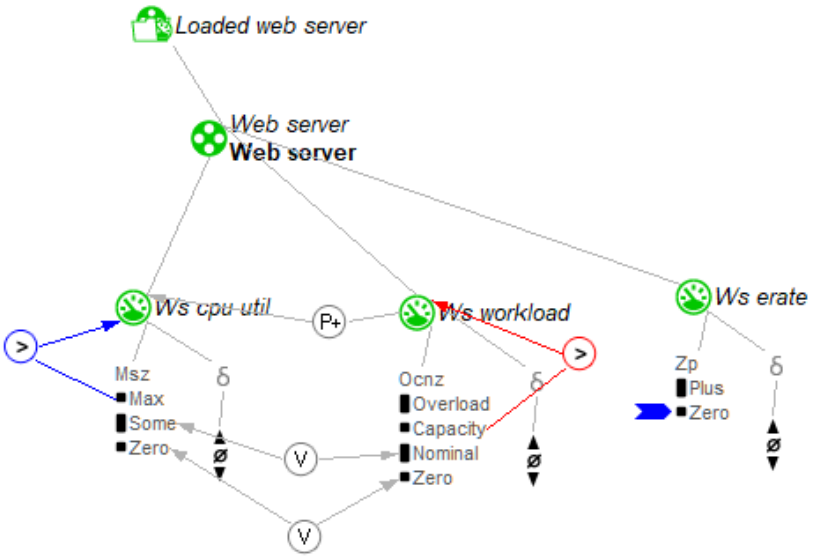
Maguk a fragmensek is hierarchiába szervezhetők; egy fragmens „gyermeke” (specializációja) további kvalitatív korlátokkal, szabályokkal egészít ki egy fragmenst. Példánkban a következő lépés így egy esetszétválasztás. A fenti részmodellt két további részmodellbe specializáljuk; az első a túlterhelt (szaturált) esetre fogalmaz meg szabályokat, a második pedig a nem túlterheltre.
A túlterhelt esetet mutatja a következő ábra. Piros szín reprezentálja a fragmens használatának úgynevezett előfeltételét; itt nyilvánvalóan azt a megkötést, hogy a kiszolgáló terhelése legalább a tervezett kapacitás legyen. A következményként alkalmazandó szabályok (kék szín) pedig rendre a következőkről rendelkeznek:

1. A CPU-kihasználtság egyenlő a landmarkként definiált „maximum” értékkel.
2. Az éppen a tervezett kapacitásnak megfelelő terhelés esetén a kiszolgáló hibarátája még nulla.
3. Magasabb terhelésekhez azonban nem nulla hibaráta tartozik.
4. A terhelés növekedése – például kilépése a „pontszerű”, landmark „tervezett kapacitás” értékből – a hibaráta növekedését vonja magával.



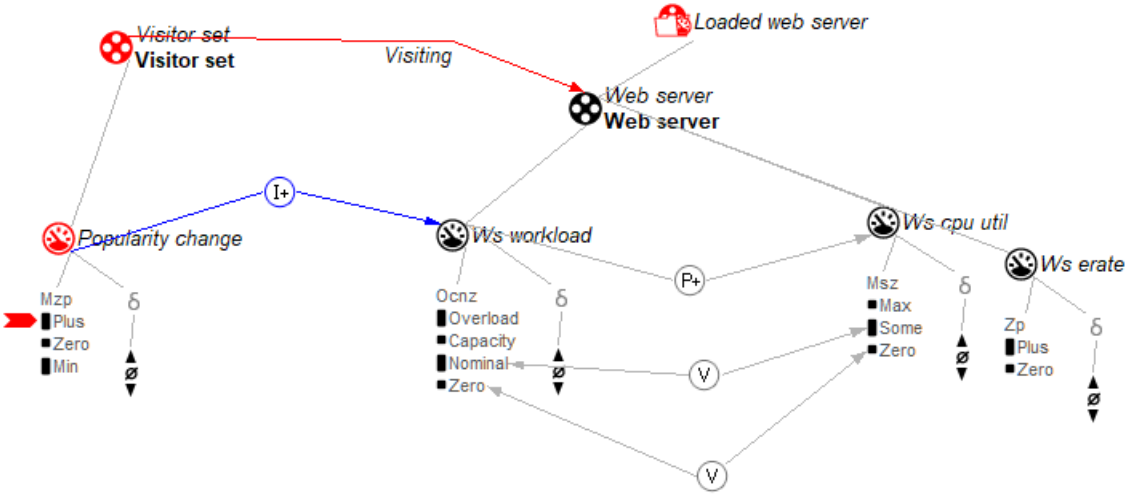
11. ábra. Webkiszolgáló viselkedés túlterhelt esetben.
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

A másik, nem szaturált eset ennél valamivel egyszerűbb: „előfeltétele” egyértelmű, a fennállása esetén alkalmazandó kvalitatív szabályok pedig megadják, hogy a CPU kihasználtsága mindenképp kisebb, mint a maximális, a hibaráta pedig mindenképp nulla.



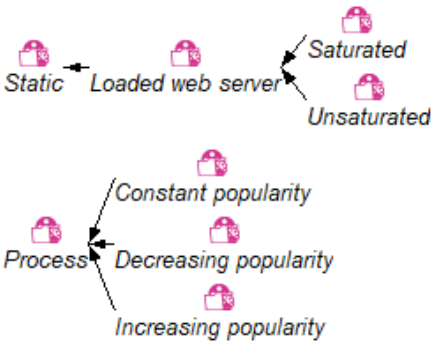
12. ábra. Webkiszolgáló működése nem túlterhelt esetben.
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

Ezzel azonban még csak a kiszolgáló passzív reakcióit modelleztük a változó terhelésre; a változásokat okozó folyamatot és a hatásmechanizmusokat még nem vezettük be. A Garp3-ban ennek modellezésére szolgálnak a „folyamat” altípusú részmodellek. Jelen példánkban a folyamat a weboldal népszerűségének ingadozása lesz. A már jellemzett webkiszolgálót „könyvtári elemként” beemelve például a következő folyamat-részmodellt hozhatjuk létre (lásd az ábrán).



13. ábra. Weboldal-látogatási népszerűség növekedésének kvalitatív hatását leíró folyamat-részmodell. Forrás: a szerzők saját szerkesztése

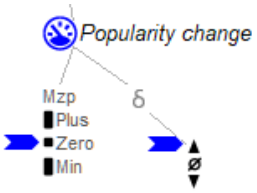
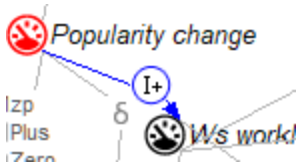
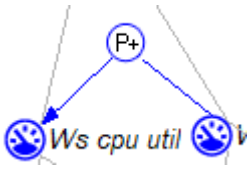
A folyamatmodell azt írja le, hogy mi történik, ha az oldal népszerűsége nő (ezt egy „pozitív/nulla/negatív” értékkészletű kvalitatív változóval modellezvén – a piros nyíl jelenti az ábrán az előfeltételként értelmezendő értékmegkötést). Az „I+” kapcsolat a népszerűség és a terhelés között egyértelmű: növekvő népszerűség – a kvalitatív változó pozitív értéke – a terhelés növekedését fogja okozni. A népszerűség változását leíró többi eset hasonló szellemben modellezhető – ezek bemutatásától eltekintünk. Összességében a lenti ábrán látható modellfragmens-könyvtárat hozzuk létre.

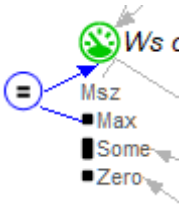


14. ábra A webkiszolgáló-példában létrehozott részmodellek. Forrás: a szerzők saját szerkesztése

3.2. Kvalitatív szimuláció

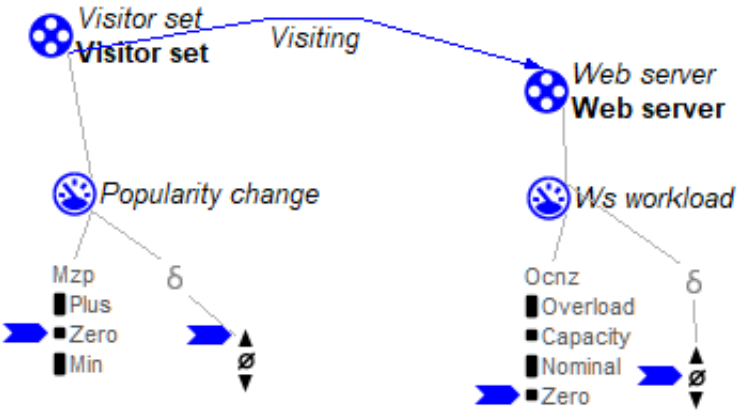
A modellezés során több, különböző típusú kvalitatív megkötést – szabályt – is alkalmaztunk, oly módon, hogy ezek vagy előfeltételt jelentenek (ha a népszerűség-változás pozitív…), vagy az előfeltételek teljesülése esetén igaznak tekintendő kvalitatív megkötéseket (…akkor a kiszolgáló terhelése nő) írnak elő. A figyelmes olvasó mind a modellezés stílusából, mind pedig szóhasználatunkból észreveheti, hogy a modellezési paradigma nagyon közel áll az operációkutatásban és a rendszeroptimalizálásban is széles körben alkalmazott, strukturált korlátkielégítési modellezéshez és elemzéshez (constraint satisfaction programming, CSP). Ez közel sem véletlen; valójában a legtöbb kvalitatív elemzési paradigma reprezentálható CSP-ként. A kvalitatív szimuláció alapgondolata is „korlátkielégítés-stílusú": egy adott kvalitatív állapotban megvizsgáljuk, hogy az állapot részét képező változás-irányokkal növelve/csökkentve a kvalitatív változókat (például „most éppen nő a munkaterhelés") mik lehetnek a „következő" kvalitatív állapotok. A fent is használt kapcsolatokkal megfogalmazott korlátok ezt a „lehetséges következő állapot" halmazt szűkítik különböző módokon.
Kiemelt szerepük miatt a kvalitatív mennyiségek, nagyságok és változás-irányok (deriváltak) között értelmezett legfontosabb kapcsolatokat érdemes egységes szerkezetben is áttekintenünk. Ebben segít a következő táblázat.

Előfeltétel/hatás kategória	**Jelölés**	Értelmezés
Értékmegkötés (value)		Kvalitatív mennyiség vagy változásirány egy adott értékre megkötése.
Közvetlen hatás (direct influence)		Q1 és Q2 mennyiség között I + (Q2 ,Q1) esetén Q2 növekedni fog, ha Q1 pozitív, csökkenni, ha negatív, és nem változik, ha nulla. Alkalmazásának előfeltétele, hogy Q1 értékkészlete a beépített „plus-zero-minus" legyen. Az I-hatás ennek pontosan az ellentettje.
Arányosság (proportionality)		Bizonyos értelemben a közvetlen hatásokat „tovább terjesztő" irányított reláció; ha Q1 és Q2 között P + (Q2, Q1) fennáll, akkor Q1 növekedése esetén Q2 is nő, csökkenése esetén csökken, állandósága esetén pedig nem változik. Lehet kétirányú és negatív (P-) is.

Értékmegfelelőség (Correspondence)		Egyirányú vagy irányítatlan módon megadja két mennyiség kvalitatív nagyságrend-azonosságát mint korlátot. Azaz például hatásként azt a korlátot, hogy ha a webkiszolgáló terhelése nulla, akkor CPU-kihasználtsága is.
Inequality (Egyenlőtlenség)		A szokásos relációk (<, ≤, = ,≥, >) kvalitatív megfelelői. Többféleképpen is alkalmazható, például egy adott mennyiség megengedett nagyságrendértékeinek korlátozására, de (összehasonlítható nagyságrendérték-készletű) mennyiségek közötti kapcsolatképzésre is.

8. táblázat. A kvalitatív mennyiségeken és változásaikon értelmezett legfontosabb relációk.
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

Ahhoz, hogy kvalitatív szimulációkat tudjunk futtatni, szükségünk van még egy alkotóelemre: a forgatókönyvekre. A forgatókönyvek megadják a részmodellekből és alapvető modellelemekből felépülő, vizsgálandó struktúrát és a „szimulációs paramétereket” is. Egy igen egyszerű forgatókönyvet mutat be a következő ábra.

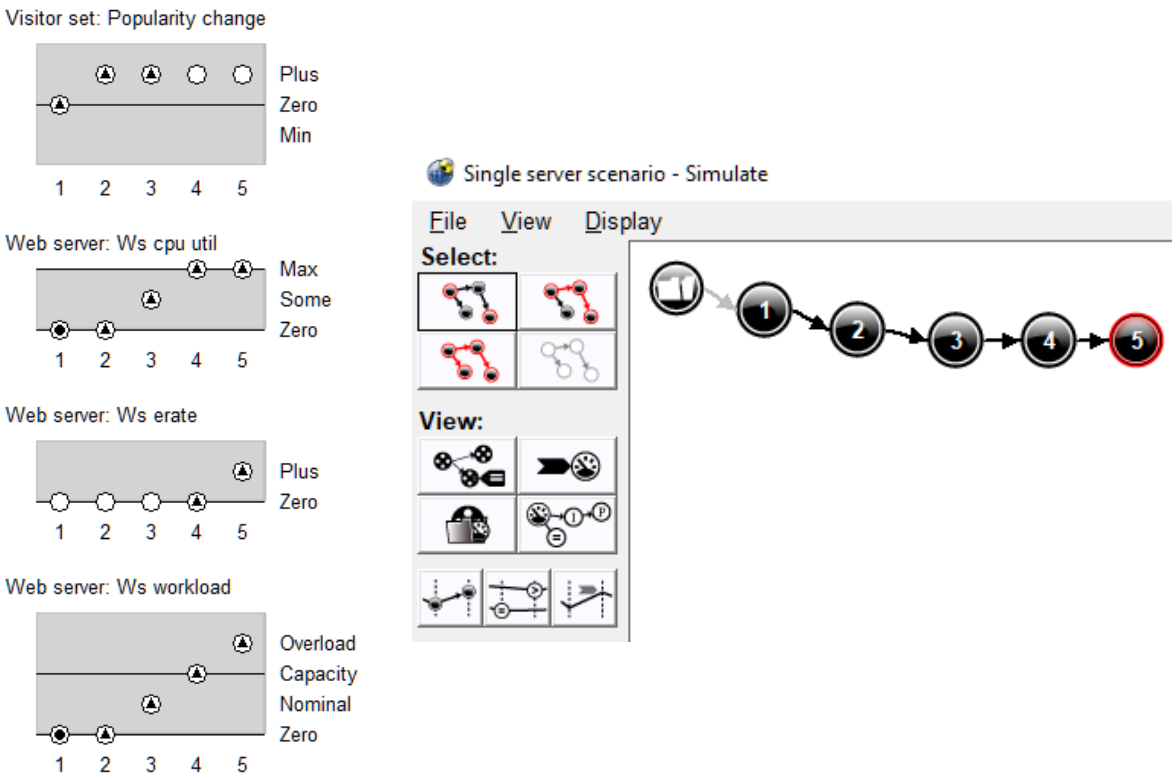


15. ábra. Egy egyszerű kvalitatív szimulációs forgatókönyv.
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

A forgatókönyv által feltett kérdés: hogyan fog viselkedni a rendszer, ha

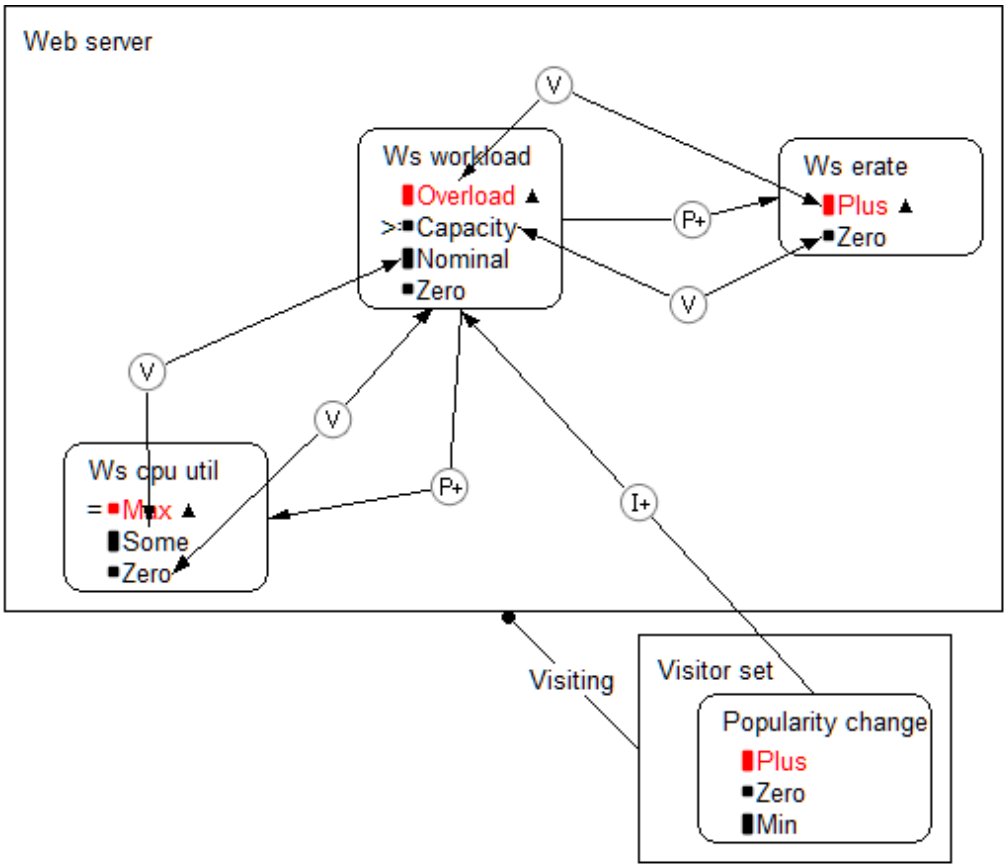
a) kezdetben a weboldal terhelése nulla,
b) kezdetben a weboldal népszerűsége konstans,
c) de a weboldal népszerűsége monoton elkezd nőni.

Ez a forgatókönyv igencsak részleges – feltehetnénk a kérdést, hogy hol vannak a további, modellezni szándékozott mennyiségek? Ha visszalapozunk a webkiszolgáló közös, absztrakt modelljéhez, ott a további modellelemek kék színnel, következményként szerepeltek – informálisan, a forgatókönyvben szereplő webkiszolgáló jelenléte okozza a további mennyiségek „megjelenését”, az előfeltételekre (legyen egy webkiszolgáló entitás) illeszkedéssel. Hasonló módon a „visiting” kapcsolattal összekötött két entitásra „illesztéssel” fogja a megoldó-alrendszer a korábban megfogalmazott közvetlen hatásokat életbe léptetni, figyelembe venni. Így a konfigurációban elég ténylegesen csak a forgatókönyv „magját” megadnunk. Egy megjegyzés erejéig ismét a mélyebb informatikai ismeretekkel rendelkező olvasókhoz szólva: a Garp3 a kvalitatív következtetés mellett korlátozott, de valódi gráfmintaillesztést és állapotonkénti mintaalapú modellexpanziót is megvalósít. Ez az eszköz modellezőerejét különlegesen erőssé teszi – ennek hátránya azonban, hogy e képességek alkalmazása esetén a modellhibák azonosítása is jóval nehézkesebb.
Az ezen indítófeltételek alkalmazásával adódó kvalitatív állapotfejlődést mutatja be a következő ábra. Az eszköz az adott indítófeltételek mentén elérhető összes kvalitatív állapot megkeresésére is képes; esetünkben ez az állapottér – szándékoltan – igen egyszerű.



16. ábra. Kvalitatív állapotfejlődés és állapottér egy egyszerű „növekvő terhelés” forgatókönyv esetén. Forrás: a szerzők saját szerkesztése

Lehetőségünk van az állapottér egyes állapotaiban az érvényesnek vett részmodellek illesztéséből kialakuló struktúrát, állapotot és relációkat együttesen is vizsgálni; ezt mutatja a következő ábra. Jól látszik, hogy miért ez az állapotsorozat utolsó eleme: bár az állapotban a webkiszolgáló mindhárom jellemzője „növekszik” derivált állapotban van, egyik sem tud már magasabb nagyságrendi értéket felvenni. Lehetőségünk lenne olyan forgatókönyveket is definiálni, amelyekben a népszerűségváltozást egy külső (exogén), tetszőlegesen változó mennyiségként értelmezve a rendszer összes lehetséges állapotátmenetét vizsgálhatnánk, így azt is, mikor egy túlterhelt webkiszolgáló terhelése elkezd csökkenni. Ennek ismertetése azonban jelen kereteinken túlmutat.



17. ábra. Kvalitatív részállapotok és a részmodell-illesztésekből kiadódó kvalitatív relációk az 5. állapotban.
A kvalitatív változók az állapotban aktuális értékei piros kiemelésűek.
Forrás: a szerzők szerkesztése

Összességében látható, hogy a lejátszódó állapotváltozások megfelelnek az előzetes elképzeléseinknek és elvárásainknak. Példánk szándékoltan egyszerű, így örvendetes, hogy azt a viselkedést kapjuk, amit vártunk, „visszaellenőrizhető” módon.
Komplex rendszerekben azonban, ahol számos elem bonyolult egymásra hatásait vizsgáljuk, jellemzően közel sem látható előre, hogy rendszerszinten a különböző túlterhelési forgatókönyvek milyen hatásmechnizmusokat és hibaterjedési láncokat aktiválnak. A modern eszközökkel végzett kvalitatív modellezés ereje pontosan ez: képes olyan forgatókönyveket az önmagukban részleges tudásfragmensek komponálásával kikövetkeztetni, amelyek előre nem feltétlenül láthatók. Másodlagos, ám fontos alkalmazása még a kvalitatív következtetésnek, hogy lehetővé teszi a szakértői „megérzés” alapján feltételezett viselkedések, ha nem is bizonyítását, de formális indoklását is.

4. KVALITATÍV MODELLEK SZÁRMAZTATÁSA MEGFIGYELÉSEKBŐL

A kvalitatív modellezés filozófiájának már a diszciplína kialakulásának kezdete idejében is – a „kvalitatív fizika” kidolgozása során – alapelemét képezte az a feltételezés, hogy a modellépítés és -elemzés hiányos tudás alapján történik, illetve történhet. A kvalitatív modellek alkalmazásának klasszikus formája a (kvalitatív) szimuláció; ennek kontextusában a megközelítés erejét az adja, hogy egy rendszer viselkedésével kapcsolatban akkor is tudunk (kvalitatív) előrejelzéseket adni, ha a rendszer működését leíró modell szabályai, vagy a kvalitatív szabályokat a valósággal összekötő paraméterek csak részlegesen ismertek.

Mindemellett azonban igaz az is, hogy minél teljesebb és pontosabb kvalitatív modell áll rendelkezésünkre, annál pontosabb – illetve annál kevésbé bizonytalan, nem determinisztikus – viselkedési előrejelzésekkel tud egy kvalitatív modell szolgálni. Így elsődleges fontosságú, hogy a modellezett rendszer vagy jelenség viselkedéséről rendelkezésünkre álló minden információt beépítsünk a modellbe.

Informálisan a modellezés szempontjából két fő adatforrás-kategóriára hagyatkozhatunk: tudásra és megfigyelésekre. A felhasznált tudás – a tudásmenedzsment terminológiáját alkalmazva – lehet tacit és explicit tudás is.

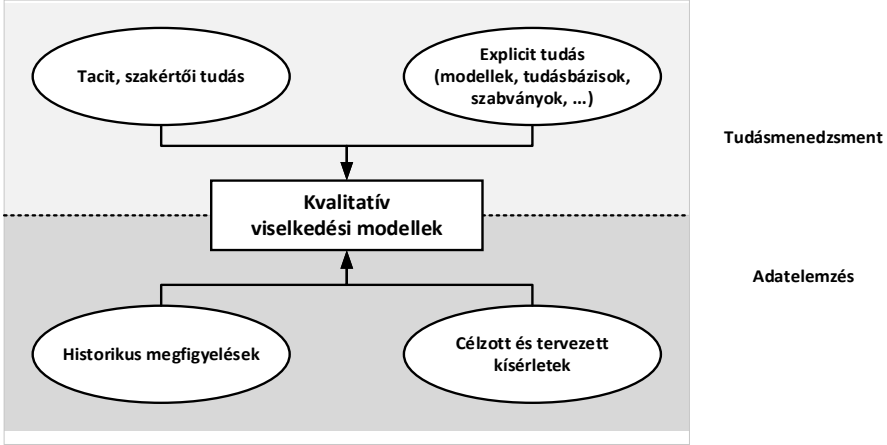
Visszautalva az előző fejezet webkiszolgáló példájára: tegyük fel, hogy a kiszolgálómodellt a rendszerfelügyeletet tervező szakértő mérnök tudása alapján állítottuk fel. Az ilyen tudás nem csak „tacit” – nem kimondott és dokumentált –, de egyben részleges is. Részleges abban az értelemben, hogy önmagában nem adja meg, hogy egy adott rendszerben pontosan mekkora processzorkihasználtságnál történik meg a telítődés; és részleges oly módon is, hogy a további erőforrások tekintetében vett viselkedéssel kapcsolatban – például a hálózati sávszélesség vagy a háttértár-hozzáférés sávszélessége – nem hordoz tudást. Ennek ellenére az e szakértői tudás segítségével felállított modellek már önmagukban is komoly értéket hordoznak. Egy összetett rendszerben vizsgálhatóvá teszik például azt, hogy mi történik (vagy történhet), ha a szervezet alkalmazásait futtató adatközpont egyes gépein a processzor-erőforrásokon osztozó alkalmazások egymás processzoridejét elkezdik „elvenni” (adott esetben saját túlterhelésükből kifolyólag).

Mint azt korábban részleteztük, a modellezéshez felhasznált tudás lehet explicit is. A (klasszikus mérnöki, nem kvalitatív) követelmény-, tervezési és ellenőrzési modellek definíció szerint helyesek, bár – különösen az életciklus korai fázisaiban – absztraktságuk miatt részlegesek. Mivel explicit tudást hordoznak a rendszer szerkezetével és viselkedésével kapcsolatban, alkalmasak lehetnek kvalitatív viselkedési modellek részleges kinyerésére is.

A tacit és explicit tudás kvalitatív modellre „lefordítása” azonban a legtöbbször nem elégséges. Egyrészről a rendelkezésünkre álló tudás lehet hiányos; igaz ez például olyan zárt, „fekete doboz” rendszerek esetén, melyekkel kapcsolatban sem a megfelelő modellek, sem pedig elégségesen mély alkalmazási gyakorlat nem áll rendelkezésünkre. Emellett ha e tudás rendelkezésre is áll, kérdések merülhetnek fel ismereteink és modelleink esetfedésének elégségességével és hihetőségével kapcsolatban is.

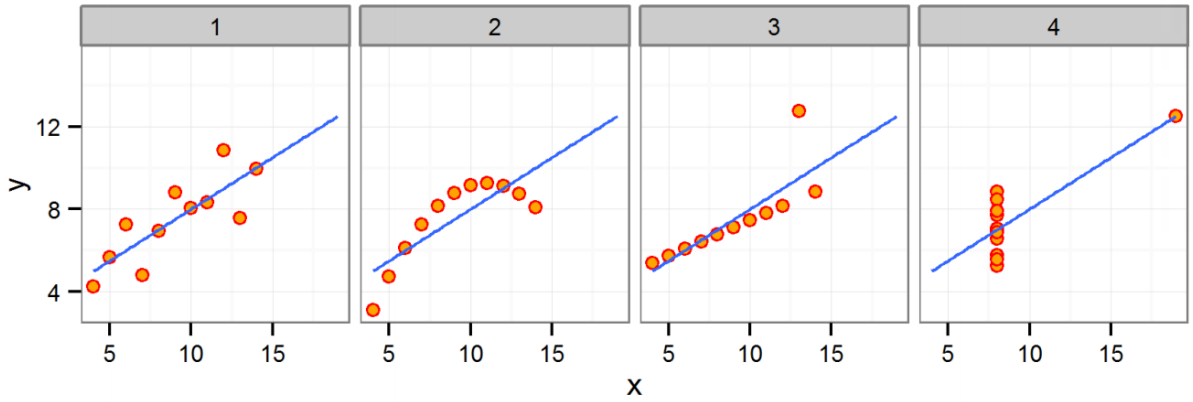
A kvalitatív modellezést így szükséges lehet megfigyelések alapján végeznünk, vagy létező kvalitatív modelleket megfigyelésekből adódó kvalitatív részmodellekkel, teljes modellekkel összevetnünk. A rendszerüzemeltetés, és azon belül a

teljesítménymenedzsment példájával megvilágítva: ha nem tudjuk, hogy egy rendszer absztrakt állapotai tekintetében hogyan reagál a kapacitáskimerülést okozó túlterhelésekre, akkor ezt a tudást megpróbálhatjuk kinyerni vagy a rendszer üzemeltetése során regisztrált felügyeleti naplókból, vagy célzott, benchmark jellegű terhelési-túlterhelési kísérletek regisztrátumaiból. A kvalitatív modellezés információforrásait szemlélteti összefoglaló módon a következő ábra.
Jelen tanulmányban nem áll módunkban sem az explicit/tacit tudás kvalitatív viselkedési modellként formalizálását, sem pedig az adatelemzés-alapú kvalitatív modellfelderítést és -tanulást részletesen bemutatni; ezek szakmailag kielégítő tárgyalásához tág matematikai apparátus ismeretét kellene feltételeznünk. Ezen kérdések tekintetében fő célunk teljesítéséhez, a modellezési lehetőségek szemléltetéséhez azonban nincs szükség formális keretrendszerekre. Így az olvasó számára példákkal, intuitív módon világítjuk meg a kvalitatív viselkedési modellek építésének két fő vonulatát; jelen fejezetben a megfigyelések alapján kvalitatív modellezésre fókuszálva.



18. ábra. Kvalitatív viselkedési modellek: tudás és megfigyelések integrációja. Forrás:a szerzők szerkesztése

A kvalitatív modellek és részmodellek megfigyelések alapján előállítása mint tágan értelmezett feladat könnyen párhuzamba állítható az általános célú adatelemzéssel; illetve értelmezhető az adatelemzés egy specializált részterületeként.
Az általános célú adatelemzésben szokásosan megkülönböztetünk adatbányászati és gépi tanulási jellegű tevékenységeket. Nagyon általánosan fogalmazva: míg „adatbányászat” esetén a rendelkezésre álló adatok megértése, a tudás kinyerése, majd alkalmazása a végcél, addig a gépi tanulási módszerek a nagy mennyiségű adaton végzett, minél automatizáltabb modellépítést célozzák; a modellek indoklása és szakértői értelmezhetősége másodlagos szempont. Mindkét terület alapját a klasszikus és modern statisztika módszerei adják. Önmagában a modern statisztika mint diszciplína is rendelkezik azonban egy kettősséggel.
Informálisan fogalmazva, klasszikusan a statisztika fókuszában az eloszlásokra és modellmegfelelőségekre vonatkozó hipotézisek igazolása vagy visszautasítása, illetve a modellparaméterek illesztése állt. A huszadik század második felében azonban, igen nagyrészt John W. Tukey matematikus munkásságához köthetően létrejött a statisztikának egy új „tradíciója”: a felderítő adatelemzés (exploratory data analysis, EDA). Ennek lényege, hogy mielőtt a ma „megerősítő” (confirmatory) jelzővel illetett statisztika módszereit elkezdenénk alkalmazni, jó gyakorlat egyfajta detektívmunkaként vizuálisan, ábrák segítségével „bejárni” a rendelkezésünkre álló adatokat és hipotéziseinket ez alapján megfogalmazni.
Jó motivációt ad erre „Anscombe négyese” (Anscombe’s quartet): négy olyan megfigyeléskészlet, amelyek annak ellenére különböznek radikálisan, hogy alapvető statisztikai jellemzőik nagyon hasonlítanak, és a rájuk illeszthető egyenes (lineáris regressziós modell) azonos. A négy adatkészlet szórásdiagramon ábrázolásával azonban a minőségi különbségek rögtön egyértelművé válnak (lásd az ábrán).



19. ábra. Anscombe négyese.
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

Az EDA tárgyalása során jellemzően arra szoktunk rámutatni, hogy ezen esetekben más és más típusú folyamatok „lenyomatát” látjuk megfigyelésekként, így statisztikai modellezésüket is különböző módokon érdemes végezni. Motivációként itt azonban a négy adatkészlet különböző kvalitatív interpretációját adjuk meg.

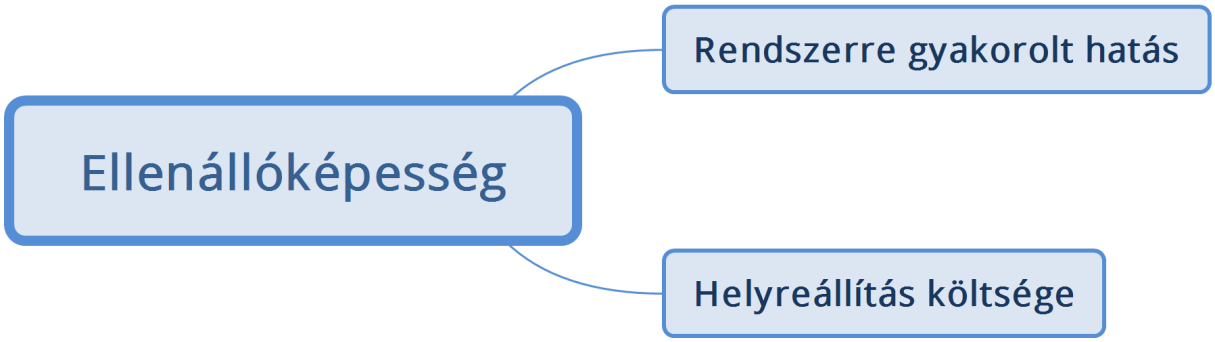
1. Az első esetben a két változó között kvalitatív arányosság (P+) áll fenn, de szükséges lehet a véletlenszerű hiba y-ra hatásának kvalitatív modellezése is. Emellett többletiformációra van szükségünk azzal kapcsolatban, hogy a vizsgált tartományokon a két változónak vannak-e landmark értékei.
2. A második esetben y-nak mindenképp van egy landmark értéke – a görbe maximumpontja. Az ez alá eső értékek adhatnak egy kvalitatív nagyságrendet, amelyet alulról egy, a 0-hoz rendelt landmarkkal le is zárhatunk. A maximumponthoz tartozó x-et szintén landmarkként megjelölve egy igen tiszta kvalitatív modell adódik ki: a két landmark között értékmegfelelőséget feltételezhetünk, ez alatt P+ kapcsolatot, felette pedig P- kapcsolatot (lásd korábban).
3. A harmadik esetben egyszerű statisztikai modellezésnél a kieső (outlier) értéket egyszerűen eldobnánk. Kvalitatív modellezés esetén megvizsgálandó, hogy mi okozhatja a kieső értéket, és ha a remélhetőleg felismert folyamat fontos a modellezett terület szempontjából, úgy hatását y-ra érdemes modellezni. Ez egyben valószínűleg indukálja azt is, hogy a kieső érték külön kvalitatív értéktartományt kapjon. Mindezektől eltekintve itt is felfedezhető a P+ kapcsolat. (Jelen munka szempontjából technikai részlet, de matematikailag valójában még y folytonosságát is vizsgálnunk lehet szükséges.)
4. A negyedik esetben a kieső értékre hasonló megfontolások igazak, mint a harmadik esetben; lényegesebb azonban, hogy ettől eltekintve a két változó között nincs kapcsolat, így rájuk kvalitatív korlátot vagy relációt nem szükséges felállítanunk.

Egyszerű példánk demonstrálja, hogy az EDA során szokásosan alkalmazott vizuális analízis alkalmas és hatékony eszköze lehet egy adatkészlet kvalitatív jellemzőinek felderítésére.

5. KVALITATÍV MODELLEK A KRITIKUS INFRASTRUKTÚRÁK VÉDELMÉBEN

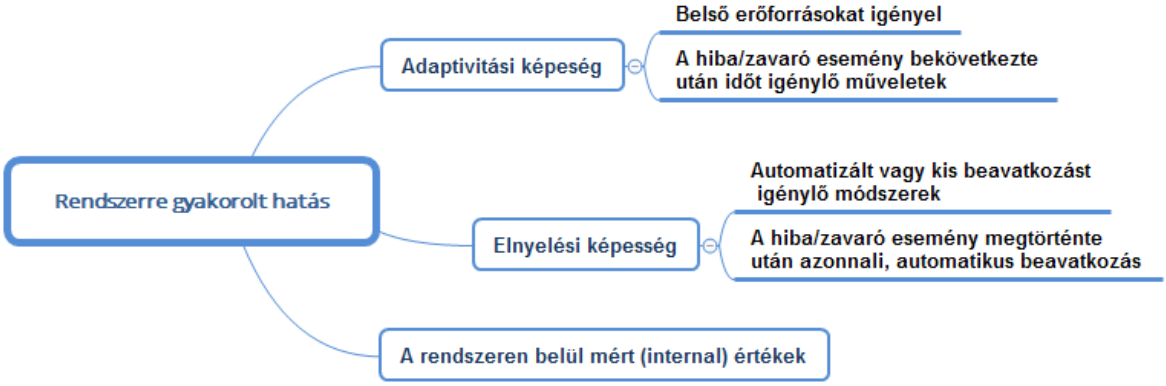
Az alábbiakban példát adunk arra, hogy lehet a rendszerelemzési folyamatokat (System Analysis Process) kvalitatív módszerekkel támogatni a kritikus infrastruktúrák védelmében.
Ellenállóképesség (resilience) alatt egy rendszernek azt a tulajdonságát értjük, hogy zavaró események bekövetkezése esetén ezek hatását mind időben, mind súlyosságban a lehető legjobban mérsékelje.
Az ellenállóképesség elemzése során dolgozhatunk kvalitatív vagy kvantitatív modellekkel. Utóbbi esetben a rendszerről olyan modellt alkotunk, amely az események bekövetkezését, hatásukat, és az elhárítás idejét egyaránt úgynevezett sztochasztikus modellként írja le. Egy egyszerűbb, de kiszámíthatóbb megközelítés a felső határértékek alkalmazásával determinisztikus modellel leírni a rendszer viselkedését.
A sztochasztikus modellalkotással pontosabb képet kaphatunk a rendszerről, ugyanakkor számos feltételezéssel kell élnünk a modell megalkotása során (például az események bekövetkezésének valószínűsége egy adott időszakban előre kiszámítható), emellett alkalmazásuk matematikai jellegű modellezési és értelmezési tudást igényel. Az így megalkotott modellek alkalmasak arra, hogy számszerűsített értékeket adjanak meg a rendszer egyes jellemzőire (például várhatóan mennyi ideig lesz elérhetetlen egy adott szolgáltatás egy adott periódusban), sőt, ezen becslések pontosságára vonatkozóan is szolgálnak információval, tehát a tapasztalt elemző megítélheti, mennyire bízhat az adott sztochasztikus modell alkalmazhatóságában.
A kvalitatív módszerek ezzel szemben azt feltételezik, hogy a rendszerben fellépő változások és hatásaik nem számszerűen, hanem jellegüket tekintve mértek, így értékelésük során elsődlegesen a rendszer állapotának jellegét akarjuk becsülni.
Ez a megközelítés megfelel a bevezetőben is említett absztrakciónak: például egy épületben áramszünet esetén a helyreállítás során nem kezeljük külön az egyes hőmérsékleti értékeket, hanem a „biztonságos” tartományba szeretnénk juttatni a rendszert.
Ha a rendszerünkhöz modellt építünk, mely modell a rendszer viselkedését állapot alapon írja le, akkor még szembetűnőbb a kvalitatív módszerek használatának előnye. Egy „okos épület” jellegű alkalmazás esetén, ha a szabályozás figyelembe veszi egy adott épületrész hőmérsékletét, akkor a szabályozóban tipikusan nem egyedi értékekhez, hanem értéktartományokhoz rendelünk beavatkozási előírásokat. Ez ebben az esetben egy egyértelmű leképezést jelent, hiszen a hőmérséklet mint skála folytonos, így ha a „kvalitatív” szempontból egyként kezelt tartományok (például alacsony-megfelelő-magas-veszélyes hőmérséklet) nem lapolódnak át, minden mért érték egyértelműen leképezhető egy tartományra. Ha az értékek nem numerikusak, de rendezettek (lásd például a szálloda csillagai vagy egy riasztás különböző szintjei), akkor ez a leképezés szintén egyértelmű.
Ha a rendszerállapotok modelljét is vizsgáljuk, akkor például az okos épület esetében, ha egy teremben három ponton helyezünk ki hőmérőt, amelyek 40 fokos tartományban mérnek, akkor potenciálisan 403 (64 000) állapota lehet a teremnek. Ezen lehetséges állapotok jó része soha nem fog bekövetkezni. Ha ezt leképezzük 3 kvalitatív tartományra, akkor ezen állapotok száma 33 (9). Amennyiben például egy szabályozás helyességét szeretnénk vizsgálni, akkor alapvetően a három mérési pontban mért tartományra és annak változására lehet szükségünk, ami egyben jól illeszkedik a kvalitatív modellezési és következtetési (qualitative reasoning) módszerek eszköztárához.

Ezt a fajta absztrakciós lépést meg kell tennünk akkor is, ha a rendszer ellenállóképességét akarjuk becsülni. Ebben az esetben a rendszer bizonyos mért értékeiből képzünk a rendszer működési képességét jellemző tartományokat.
Amikor a rendszer ellenállóképességét növeljük, akkor egyrészt a hibák rendszerre gyakorolt hatását (angol terminológiában: system impact), másrészt a helyreállítás költségét (total recovery effort) próbáljuk csökkenteni, így a különböző módszereket, illetve megvalósítási alternatívákat aszerint értékeljük ki, hogy ezen jellemzőkön milyen mértékben tudnak változtatni. Az alábbiakban a (Vugrin et al. 2010) gondolatmenetét követve bemutatjuk, hogyan alkalmazhatók kvalitatív modellek ezen tulajdonságok felmérésére és a lehetséges javítási stratégiák kiértékelésére.



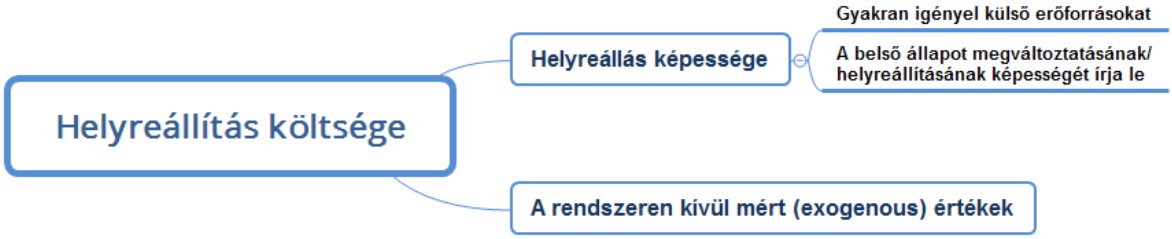
20. ábra. Az ellenállóképesség aspektusai.
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

A rendszerre gyakorolt hatást a rendszer adaptivitási és elnyelési (angolul absorbtive) kapacitása, vagyis azon képessége határozza meg, hogy mennyire tud a környezeti hatásoknak vagy azok elnyelésével/kivédésevel, vagy adaptív viselkedéssel ellenállni.
Az adaptivitási kapacitás alatt annak mértékét értjük, hogy a rendszer mennyire és milyen időtávon tud egy külső zavaró eseményre reagálni. Ez egyben leírja a rendszer belső változásait is egy krízisre adott válasz esetén. Kvalitatív modellek esetében, utalva a Garp3 elemkészletére, ez megfelelhet annak, hogy egy adott változó (például egy hőmérsékleti érték, egy erőforrás telítettsége, egy megnövekedett várakozási sor hossza vagy egy szolgáltatás válaszideje) adott belső változások (például erőforrások átkonfigurálása, hibakezelési folyamatok beindítása, tárak kiürítése/helyreállítása, kérések megváltozott módú kiszolgálása) mellett hogyan és milyen mértékbe változtatja értékét.
Az elnyelési képesség megfelel annak, ahogy a rendszer képes a futásidejű hibákat kompenzálni, illetve azok hatását semlegesíteni, például a bemeneti validáció vagy a többszörös futtatás tervezési mintáit alkalmazva.



21. ábra. A rendszerre gyakorolt lehetséges hatások.
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

A helyreállítás költsége alatt alapvetően a rendszer helyreállási képességéből adódó faktorokat értjük. Ha egy rendszernek például külső tartalékokat kell igénybe vennie ahhoz, hogy megfelelő módon helyreállítsa az elvárt szolgáltatási szintet, az a modellben egy rendszeren kívüli tényezőként („tartalék erőforrást bekapcsoltuk") jelenik meg.



22. ábra. A helyreállítás költségének faktorai.
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

5.1. Kockázati mátrix

A bevezetőben is említett kockázatanalízis egyik eszköze a kockázati mátrix használata. A kockázati mátrix egy esemény rendszerre gyakorolt hatását (impact) és bekövetkezési valószínűségét (probability) ábrázolja kvalitatív módon.

	Kockázatelemzési mátrix				
	Hatás				
Valószínűség	*Jelentéktelen*	*Kicsi*	*Mérsékelt*	*Kiemelkedő*	*Katasztrofális*
Majdnem biztos	Magas	Magas	Kiemelkedő	Kiemelkedő	Kiemelkedő
Valószínű	Mérsékelt	Magas	Magas	Kiemelkedő	Kiemelkedő
Mérsékelt	Alacsony	Mérsékelt	Magas	Kiemelkedő	Kiemelkedő
Valószínűtlen	Alacsony	Alacsony	Mérsékelt	Magas	Kiemelkedő
Lehetetlen	Alacsony	Alacsony	Mérsékelt	Magas	Magas

23. ábra. Kockázatelemzési mátrix minta.
Forrás: a szerzők saját szerkesztése

A kockázatelemzési mátrix sorai a bekövetkező események valószínűségének felelnek meg, a cellák a kvalitatív kockázat értékeit tartalmazzák. Nincsen egyetlen, általánosan bevett skála, de elmondható, hogy a legtöbb esetben a „majdnem biztos” események azok, amelyek bekövetkezési valószínűsége 90%, a „valószínű” események azok, melyek legalább 50% eséllyel következnek be, a mérsékelt valószínűségű esetek 10%, míg a valószínűtlen esetek 3% eséllyel következnek be. Itt fontos kiemelni, hogy a kockázatelemzés része egyben a rendszer elvárt üzemelési periódusának meghatározása is. Ez azokban az esetekben lehet érdekes, amikor valamilyen időfüggvénnyel írjuk le a rendszer egy-egy jellemzőjét, amelyek így időben monoton növekvő értékeket vesznek fel. Egy elektronikus alkatrész esetén például a kezdeti „beégetési” hibák feltárása után, de még az elöregedés kezdete előtt a hibaráta (amely arra utal, hogy egy időegység alatt mekkora valószínűséggel hibásodik meg az alkatrész) tipikusan független az időtől, ugyanakkor annak az esélye, hogy egy adott időszak alatt összességében bekövetkezik a hiba, az időszakkal arányosan nő. Biztonságkritikus rendszerekben a vizsgált időszak lehet akár 30 év is. Missziókritikus rendszerekben (például robotrepülő) a „misszió” meghiúsulásának esélyeit vizsgálják.
A kockázati mátrix oszlopai ugyanakkor a hibák bekövetkezésének hatását írják le. Szakterülettől és a vizsgált rendszertől is függ egy-egy esemény besorolása. Egy tipikusnak mondható besorolás szerint jelentéktelen az a hiba, amelyet a normál működést támogató folyamatok el tudnak hárítani, kicsi a hiba, ha az csak kevéssé zavarja meg a rendszer működését, mérsékelt, ha jelentős idő/erőforrások szükségesek a helyreállításhoz, súlyos/kiemelkedő, ha súlyosan sérül a rendszernek az a képessége, hogy az elvárt szolgáltatást nyújtsa, míg katasztrofális, ha az adott szolgáltatás/rendszer fennmaradása kerül veszélybe. Biztonságkritikus rendszerek esetén a hatás érinthet közvetlenül emberéleteket is (például járművek vagy erőművek vezérlése).
A kockázati mátrix egyik kiegészítése a Risk Priority Numbers (RPN) módszer, mely a hatások mértéke és a bekövetkezés valószínűsége mellett azt is figyelembe veszi, milyen eséllyel érhet el az adott hiba egy ügyfélig.

5.2. Hibamód és -hatás analízise

A hibamód és -hatás elemzése (Failure Mode and Effect Analysis, FMEA) a kvalitatív modellek alkalmazásának széles körben ismert és elterjedt példája. Az FMEA-elemzések esetében egy rendszer komponenseit kezdjük el vizsgálni, amelyek egymással előre definiált kapcsolatok mentén kommunikálnak, így egymástól függenek. Ez a függőség egyben megadja a komponensekben (vagy azok bemenetén) keletkező hibák lehetséges továbbterjedési útjait. Ezen utak mentén a kvalitatív értékek terjedése vizsgálható. Az FMEA esetében egyes komponensekhez rendelhetünk hibamódokra történő reakciókat. Az FMECA (hibamód, -hatás és -kritikusság vizsgálata) során nemcsak az egyes hibák bekövetkezését, hanem hatásuk súlyosságát is vizsgáljuk.

5.3. Hibafaelemzés

A hibafaelemzés során a rendszerszintű hibajelenség bekövetkeztét akarjuk visszavezetni elemi események együttes bekövetkezésére. A hibafa (hasonlóan az FMEA-módszerhez) kombinatorikus módszer abban az értelemben, hogy egymástól függetlenül bekövetkező hibák hatását vizsgálja együttesen. A hibafa (Fault Tree, FT) az egyik leggyakrabban alkalmazott módszer, amely kvalitatív jellemzőkből is tud építkezni, de adott esetben számszerűsített értékekkel is ellátható.

A hibafa építése során az egyes elemek kombinálásánál az elemi (vagy tovább nem bontott külső) események hatását a logikai hálózatokból ismert AND és OR kapukkal végezzük el. Az AND (ÉS) esetén a bementek mindegyikének bekövetkezése szükséges ahhoz, hogy a kimenethez rendelt veszélyes rendszerállapot bekövetkezzen; az AND (VAGY) kapunál ehhez elég, ha csak legalább egy bemenet igaz. A logikai kapukból komponált fa végső kimenetéhez („csúcsa”) a rendszerszinten veszélyes helyzetet kötjük.
A hibafa hatékony felírása visszavezethető a logikai kifejezések digitális rendszerekben megszokott átírási formáira, amikor is a cél az, hogy egymással ÉS kapcsolatban álló elemek VAGY kombinációjaként írjuk le az összefüggéseket, így megtalálva azokat az elemeket, amelyek önmagukban rendszerszintű hibát okozhatnak, azaz más eseményekkel történő ÉS kapcsolat nélkül állnak az egyszerűsített (redukált) hibafában.
A hibafaelemzés során bevezethetünk valószínűségi értékeket is az egyes elemi eseményekhez. A megfelelően redukált hibafában ezen értékek szorzataként (ÉS kapcsolat esetén) vagy összegeként (VAGY kapcsolat esetén) kaphatjuk meg a rendszerszintű hiba bekövetkezésének esélyét.
Ez a módszer azonban alapvetően feltételezi, hogy az egyes elemi eseményekhez explicit valószínűségi érték rendelhető. Az események függetlenségét feltételezve az összeg képzésekor felülbecsüli a várható veszélyt, míg az egyes események fennállásának idejét figyelmen kívül hagyva nehezen számszerűsíthető értéket ad.
Ez a becslés segíthető azzal, ha a rendszer elemi állapotváltozói közt megalkotjuk az elemi kvalitatív összefüggéseket. Például ha egy okos épület központi intelligenciája által nyújtott szolgáltatás igénybevétele MAGAS és NÖVEKSZIK, valamint a szolgáltatás fizikai helyén a hőmérséklet MAGAS, akkor a kiszolgálóegység hőmérséklete GYORSULVA NÖVEKSZIK, és így VESZÉLYES állapotba kerül, ha a tartalék klíma nem működik. Ugyanakkor a tartalék klíma működése esetén a kiszolgálóegység hőmérséklete NEM VÁLTOZIK, így a rendszer nem kerül VESZÉLYES állapotba. Érdemes kiemelni, hogy a mérföldkövek (landmarkok) konkrét értéke a modell megfogalmazásának szempontjából lényegtelen.

5.4. Kvalitatív hibaelemzési módszerek értékelése

A kvalitatív kockázatelemzési módszerek kimenete általánosságban az alábbiak közül kerül ki:

- Hibalista
- Hibák súlyosságának becslése
- Dominóhatás(ok) felmérése a rendszerben
- Ok/hatás lista incidensekre és eseményekre
- Kritikus beállítások listája
- Hibamódok felsorolása
- Lehetséges veszélyes események listája
- Lehetséges veszélyeztetett rendszerelemek/partíciók listája
- Főbb veszélyhelyzeti szcenáriók listája

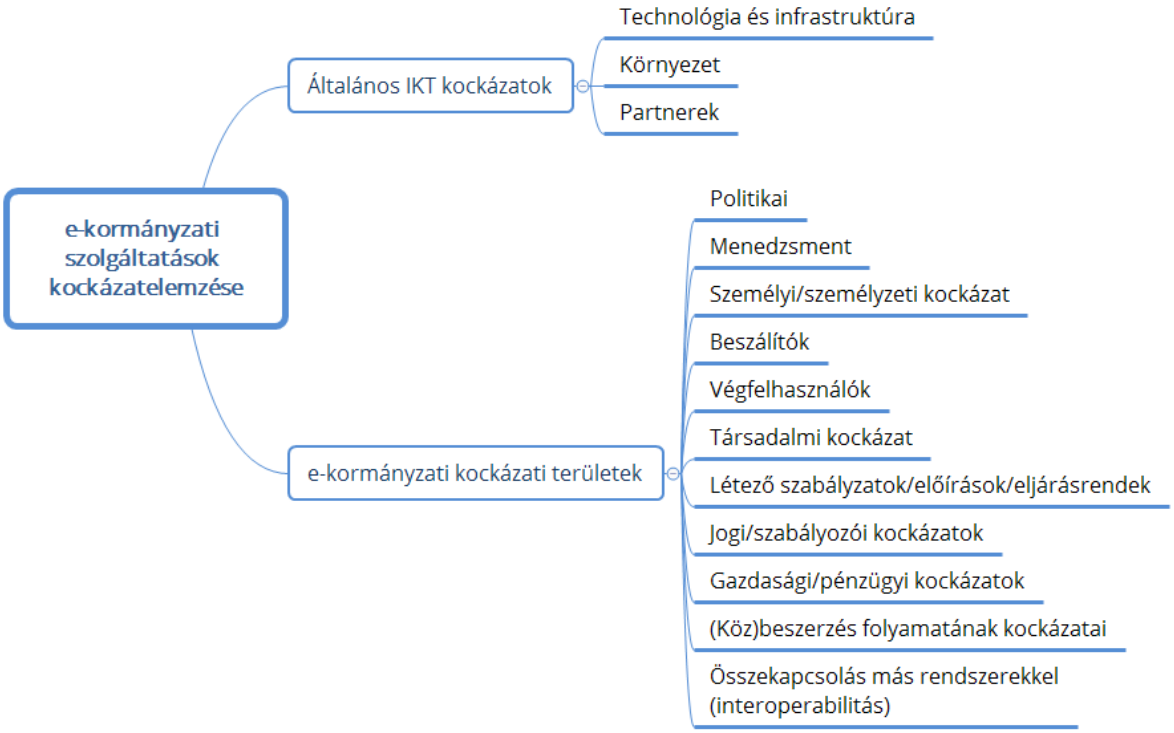
Mint látható, ezen elemek többsége természeténél fogva kvalitatív jellegű, ezért jól támogatható a rendszermodellezés és a kvalitatív modellezés összekapcsolásával.

6. ESETTANULMÁNYOK

A hibafa-, FMEA-, ill. kockázatelemzéseket sok területen alkalmazzák, biztonságkritikus rendszerek tervezésénél sok esetben kötelező vagy nehezen elhagyható tervezési/ellenőrzési lépés. FMEA-elemzéseket végeznek ugyanakkor a szervezeti működés hiányosságainak feltárására is, gyakran alkalmazott módszer például az egészségügyben (lásd Chen et al. 2012).
Kritikus szolgáltatások kockázatelemzése sok esetben igényli a humán faktorok figyelembevételét, hasonlóan például a szoftverfejlesztési folyamatokhoz. Ezen faktorok nemcsak az egyes résztvevők (többnyire statikus vagy lassan változó) képességeit veszik figyelembe, hanem az egyes helyzetekben megfigyelhető, a szolgáltatás minőségét erősen befolyásoló, ugyanakkor nehezen vagy alig kvantifikálható (számszerűsíthető) tényezőket is. A fent hivatkozott cikkben például műtétek sikerességét, hatékonyságát és költségtényezőit vizsgálva a műtőben dolgozó csapat összeszokottságát emelték ki mint befolyásoló faktort.
A továbbiakban áttekintünk néhány reprezentatív esettanulmányt az elektronikus kormányzati szolgáltatás, közlekedés, okos parkolás, repterek, energetikai vezérlő hálózatok területéről, ahol kvalitatív vagy vegyes (számszerű és kvalitatív megközelítéssel egyszerre dolgozó) módszerekkel elemezték ki rendszerek gyenge pontjait, illetve mutattak rá továbbfejlesztési lehetőségekre vagy téves feltételezésekre. Az esettanulmányok mellett megemlítjük azt is, hogy az adott területen milyen további előnye lehetne a dinamikus, következtetéseket is használó kvalitatív modellek használatának.

6.1. Elektronikus kormányzati/közösségi szolgáltatások

Elektronikus kormányzati (e-kormányzati, e-government) szolgáltatások szisztematikus kockázatelemzésére mutatunk példát (Kefalinos–Lambrou–Sykas 2009) alapján. Elektronikus kormányzati szolgáltatásokban a megszokott informatikai kockázatok mellett számos olyan tényező is fellép, amelyek a szolgáltatások jellegéből és a felhasználói körből adódnak. Ezeket a tényezőket foglalja össze az alábbi ábra.
A szerzők javasoltak egy olyan keretrendszert, amely az alábbi szempontok figyelembevételével írja le, illetve. osztályozza az egyes kockázati szempontokat. A keretrendszer neve RIPC4 (Risk, Impact, Probability, Critical Sucess Factor, Countermeasure, Cost, Coverage, magyarul kockázat, hatás, valószínűség, kritikus sikertényező, védelmi intézkedés, költség, fedés). A módszer a kvalitatív modellezés szempontjából annyiban érdekes a megszokott kockázatelemzési módszerekhez képest (ahol a költség, hatás, valószínűség fogalmak mindenütt előjönnek), hogy az ellenlépések költsége mellett azok kivitelezéséről is ad információt, egyben a kockázatkezelés során visszacsatolásra is lehetőséget ad. A fedés (coverage) alatt azt a szintet értik, amelyet egy ellenlépés el tud hárítani. Ha tehát egy kockázat hatása kritikus, akkor azt az adott kockázatra való, „kritikus” szintet semlegesítő lépéssel tudjuk megfelelően elhárítani/kezelni. Erre egyfelől elvárt küszöbértéket ad az adott kockázati tényező, másfelől egy (legalább ekkora) becsült értéket adhat egy konkrét intézkedés.



24. ábra. Elektronikus kormányzati szogláltatások kockázatelemzésének szempontjai. Forrás: a szerzők saját szerkesztése Kefalinos–Lambrou–Sykas 2009 alapján

Hogyan segítheti ezt a fajta kockázatelemzést a monográfiában bemutatott kvalitatív következtetési módszer? A választ voltaképpen megadja a szerzők által bemutatott példa, ahol egy új elektronikus kormányzati szolgáltatás bevezetésénél javasolt minta (template) kitöltésével adják meg a kockázatokat és a szükséges védelmi intézkedéseket. Ami a módszerből alapvetően hiányzik, az a **változások és egymásrahatások** kezelése. A sablon például megadja egyfelől a felhasználói bizalom kezelését, másrészt a felhasználói felület kezelhetőségére vonatkozó kockázatokat, harmadrészt az adatvédelmi előírások kezelésére vonatkozó kockázatokat és intézkedéseket. A leírások azonban magas szintűek, és nem alkalmasak arra, hogy például az alábbi szcenárió hatásait megvizsgálják:
Képzeljük el, hogy egy vállalat új szolgáltatást vezet be, amely kezeli a felhasználók személyes adatainak egy részét, és egyben webes felületen elérhető. Ha ez a szolgáltatás feltörhető, akkor ez nem csupán biztonsági kockázat, hanem egyben fenyegetést jelent a felhasználói bizalomra is. Ezen szempontok korrelációját, illetve együttmozgását legalább a követelmények statikus összerendelésével (azaz annak kifejezésével, hogy két szempont kapcsolatban állhat egymással).
Hasonlóképpen, ha a szolgáltatás igénybevétele nőni kezd, akkor ez egyfelől jelentheti a rendszer teljesítményének a változását, illetve igényelhet ehhez kapcsolódó kapacitástervezési technikákat (lásd az előző fejezetet, illetve Kocsis 2018 kismonográfiát), másfelől jelentheti azt is, hogy az oldal üzemeltetésének üzleti kockázata megnő. Ezeket a szempontokat az összekapcsolódó modellelemek szöveges specifikációján túl legalább egy magas szintű koncepcionális modellen érdemes ábrázolni annak érdekében, hogy a kockázatelemzés szisztematikus lehessen.

6.2. Elosztott (elektromos) vezérlőhálózat kockázatelemzése

Az alábbiakban az elektromos osztott intelligenciájú kontrollrendszerek (Distributed Control Systems) és az adatgyűjtést és kommunikációt központilag vezérlő SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) elosztóhálózatok kvalitatív modellezésére adunk példát. A (Cherdantsevaa et al. 2016; Ralston–Graham–Hieb 2007) cikkek az NIST és az amerikai Department of Homeland Security (védelmi minisztérium) ajánlásait követve tekintik át a kockázatkezelési módszerek alkalmazását.
A modellezés során a hibafék speciális alfajának tekinthető sebezhetőségi fákat (vulnerability tree) konstruálnak, amelyekhez valószínűségeket rendelve a hibafák leírásánál ismertetett módon vonnak le rendszerszintű következtetéseket.
A bemutatott módszerek kiegészíthetők lennének a kvalitatív szimulációval, azonban ehhez szükséges lenne a valószínűségi skála (0–100) leképezésre kvalitatív tartományokra, amely vélhetően nem lenne azonos az összes elemtípusnál. Ezzel ugyanakkor a módszer robusztussága növelhető lenne a kvalitatív szorzás mint művelet szisztematikus alkalmazásával.

6.3. Veszélyes anyagok szállításának kvalitatív kockázatelemzése

A (Palazzi et al. 2002) cikk Olaszország északnyugati régiójának (Genova –> Franciaország) közúti kockázatelemzését végzi el kvalitatív megközelítéssel, a veszélyes anyagok szállítására vonatkozóan. Több mint 70 évnyi baleseti statisztika alapján (amelyet Európa egyik legforgalmasabb és egyben technikailag nehéz útvonaláról gyűjtöttek), az útvonal egyes szakaszainak biztonsági szempontból történő besorolása, illetve alternatív útvonalak javaslata volt a szerzők célja. A konkrét földrajzi elemzést az érdeklődő olvasó a cikkben találja, itt a szerzők által alkotott modell ismertetésére, illetve az azzal kapcsolatos további javaslatokkal foglalkozunk elsősorban.
A szerzők áttekintve az adott útvonal statisztikáit, egy nagyságrenddel nagyobb **baleseti arányt** találtak, mint a hasonló útvonalakon, szakasztól függően (4-13)*10-7 baleset/"járműkilométer", az adott útszakasz hosszára és az áthaladó járművek darabszámára vetítve. Emellett az adott útszakaszon megfigyelhető, hogy a járművek **sebessége alacsony** (~ 80 km/óra). A cikk célja annak vizsgálata volt, hogy létezik-e ok-okozati összefüggés az adott útszakaszon veszélyes rakományt szállító járművek száma és a baleseti statisztikák közt.

A közúti szállítás esetén kockázati tényezőt jelenthetnek az alábbiak:

- A közút topológiája:
  egyenes út, kis kanyar (> 200m kanyarodási sugárral), nagy kanyar (< 200m kanyarodási sugárral).
- A közút meredeksége: vízszintes út, emelkedő (< 5%), erős emelkedő (> 5%), lejtő (< 5%), erős lejtő (> 5%).Vegyük észre, hogy itt tulajdonképpen két dimenzió/kvalitatív szempont van együttesen kezelve (a lejtő esetében erősebb a hatása a lejtés %-ának a baleseti esélyekre).
- Az út szélessége: két sáv irányonként, két sáv és leállósáv irányonként, három sáv irányoként.
- Az út jellege: alagút, normál közút, híd (itt érdemes kiemelni, hogy a statisztikák alapján az alagút kevésbé balesetveszélyes, mint a normál közút, ami ellentmond az intuitív elvárásoknak).

Az út (statikus, állandó) jellemzői mellett az időjárási körülmények változó hatását is figyelembe kell venni. E tekintetben az alábbi kvalitatív tartományokat azonosította a tanulmány:

- Normál időjárás, Eső/Köd Hó/Jég.

A közlekedési karakterisztikáknak megfelelően további szempontok vehetők figyelembe, amelyek egy kvalitatív változó értékkészletét adják meg:

- Alacsony forgalom (< 800 jármű/óra), közepes forgalom (800–1250 jármű/nap –> < 125 kamion/nap), nagy forgalom (> 1250 jármű/óra), nagy forgalom erős teherforgalommal (> 1250 jármű/óra, > 250 kamion/nap).

A fenti szempont is egyértelmű példája annak, hogy a kvalitatív modellezés során egymástól független szempontok keveredhetnek, amelyek szisztematikus szétválasztása (például a fenti példában a forgalom intenzitása és a teherforgalom aránya mint külön aspektusok megjelenítése) pontosabb modellek megalkotását eredményezheti.

A közúti közlekedés biztonságát vizsgáló elemzés eredménye az alábbi skálán mozog:

- Elfogadható kockázat (< 10-5/halálesetek száma2/év): a kockázat elfogadható, további intézkedést nem igényel.
- Tolerálható kockázat („A típus”): (< 10-4/halálesetekszáma2/év) ha kockázat csökkentésének költsége meghaladja a kockázat költségét (eltekintve a morális szempontoktól).
- Tolerálható kockázat („B típus”): (< 10-3/halálesetekszáma2/év) ha a kockázat nem, vagy csak aránytalanul nagy költségek árán csökkenthető.
- Tolerálhatatlan kockázat: (>10-3/halálesetekszáma2/év), semmiképp nem elfogadható kockázat, még különleges körülmények/költségtényezők fennállása mellett sem.

A kutatók a **kvalitatív feltételezéseket** ebben az esetben **statisztikai vizsgálatokkal** is alátámasztották, figyelembe véve a balesetek és a teherforgalom időbeli eloszlását, illetve a statisztikában leírt balesetekben érintett járművek típusát, valamint a fenti kvalitatív szempontokat mint faktorváltozókat. A faktorváltozók ebben az esetben segítenek a korrelációszámításban, ugyanakkor elrejtik a lényegtelen részleteket (például egészen pontosan mekkora egy adott kanyar sugara), így egyrészt elkerülhető, hogy az elemzés „megtanuljon” olyan részleteket, amelyek nem általánosíthatók (például „a 192 méter sugarú kanyar általánosságban kevésbé veszélyes, mint a 180 méter sugarú”), egyben pontosabb eredményre juthatunk.
Eredményül azt kapták, hogy szignifikáns a kapcsolat. A tanulmány kiemeli, hogy nem a számszerű, hanem a kvalitatív következtetéseket érdemes vizsgálni, mert azok jelentenek döntéshozó támogatást, ezzel együtt számszerűsítettek értékeket az adott kvalitatív tartományok hatásának leírására. Nem utolsósorban a mért adatok igen nagy időtávot ölelnek fel, tehát a pontosabb számszerű következtetésekhez további faktorok vizsgálata lenne szükséges (például forgalmi minták időbeli változása az évek alatt stb.).
A tanulmány érdekessége, hogy eredményei alapján a Genova–Nizza útvonalon több olyan szakasz is található, amelyek közlekedési kockázata elfogadhatatlan, de a költségkorlátokat is figyelembe véve nem javítható a jelen forgalom mellett. Érdekes megfigyelés volt továbbá, hogy a vizsgált adatkészletben a hidakhoz/alagutakhoz kevesebb incidenst regisztráltak, így a vizsgálat nem igazolta a kvalitatív modell ezen irányú feltételezéseit.
A kutatók a modell vizsgálatával arra a következtetésre jutottak, hogy a rendszer **jelenlegi kvalitatív modelljében (amennyiben az érvényesnek tekinthető) a feladat** (vagyis elfogadható költségek mellett csökkenteni a baleseti statisztikákat) **nem megoldható**. Ismerve az adott útszakasz fizikai kiépítését, ezt a következtetést validnak kell elfogadnunk. A **szakértői tudás** felhasználása itt az alternatív útvonalak felmérését jelentette, ezekkel kibővítve a modellt a szakértők konkrét javaslatokat tettek elkerülő útvonalakra, amelyekkel a teherforgalom (és így a veszélyes anyagot szállító tehergépjárművek száma) csökkenthető a vizsgált szakaszon. Ez megfelel a **kvalitatív modell bővítésének** és a rendszertulajdonságok újbóli vizsgálatának, ahol a vizsgálat módszertana a két esetben ugyanaz.

Hogyan lehetne a jelen kismonográfiában bemutatott kvalitatív modellezési megközelítést hasonló tanulmányokban felhasználni?
A szerzők maguk is leírják, hogy egy egyszerűsített statisztikai modellel dolgoznak a háttérben. Az általuk alkalmazott egyszerűsített modell nem tartalmazza a változások hatásainak leírását, csak statikus állapotokat reprezentál. Így ezen a modellen például nem vizsgálható több szempont együttes változásának hatása, vagy az a hatásmechanizmus, amely például egy közút átépítésekor jelentkezik (például egy frissen felújított, jobb úton nagyobb lehet a gyorshajtási arány, mint egy eleve sima úton, így a felújítás adott esetben ronthatja is a baleseti statisztikákat). Nem veszi a jelenlegi modell figyelembe a megváltozott forgalmi modell miatti hatásokat sem.
Így elmondható, hogy az általuk alkalmazott modell hiányos abból a szempontból, hogy nem jelenik meg benne a **dinamikus viselkedés** hatása, valamint a **beavatkozások** hatásának vizsgálata.
Természetesen a modellezési és elemzési módszer ennél többre képes, de a modellek teljességének, illetve valósághűségének biztosítása azon kívül eső, szakértői feladat.

6.4. Repülőterek érzékenysége a globális felmelegedésre

Aubin Lopez (Lopez 2016) bemutat egy módszert arra, hogyan lehet a klímaváltozás repülőterek sérülékenységére vonatkozó hatását felmérni. A cikk alapvetően kvalitatív modellt használ mind az események, mind a hatások leírására. A hatások leírása jelen esetben egy négyelemű kvalitatív skálán mozog (*triviális, alacsony, komoly, katasztrofális), a valószínűség három értéket vehet fel (alacsony, közepes, magas), míg a kockázat a két érték kvalitatív szorzataként értelmezhető. A vizsgált rendszert komponensekre bontották, egy légikikötő jelen esetben áll az alapvető infrastruktúrából (leszálló- és taxipálya a gépeknek, parkoló stb.), magukból a kiszolgálóépületekből és a működést támogató eszközökből (például tartálykocsi). Az események alapvetően a szél (irányának megváltozása), a biodiverzitás, illetve a lokális élővilág megváltozása (madárfajok változása), a tengerszint változása, a hőmérsékelt változása, valamint az extrém időjárási események (hóvihar, hurrikán, árvíz, szökőár, erős szél) körből kerülnek ki.*
Két nagy francia repülőtér felmérése alapján minta kockázati mátrixot alkottak. A mátrix ebben az esetben a tenger kiáradásának kifutópályákra gyakorolt hatását, illetve általában a tengerszint változásának hatását azonosította mint az adott légikikötőkre leginkább veszélyes időjárásváltozást.
Hogyan segíthet egy ilyen elemzés során a kvalitatív modellezés?
Jelen esetben a felmérést tovább lehetne bővíteni annak vizsgálatával, hogy az egyes események a fizikai hatás mellett milyen hatással vannak a repülőtér biztonságára, valamint a növekvő légiforgalom mellett milyen trendek lehetne leginkább veszélyesek, például az utas- és csomagkezelésre milyen hatással van a törölt járatok növekvő száma. A bemutatott mintatáblázat például nem számol azzal, hogy más légiforgalmi területeken a szélirány kismértékű változása nem jelent problémát, de az állandósult, nagy mértékű változás például fizikai korlátok vagy a lakott terület közelsége miatt jelentősen csökkentheti az engedélyezhető fel- és leszállások számát csúcsidőszakban, ami nemcsak az adott légikikötő kapacitására, hanem a légiközlekedés biztonságára is hatással lehet.

6.5. Petrolkémiai ellátási lánc sérülékenységének kiértékelése

Az amerikai SANDIA labor (amely többek közt „Fast response”, azaz krízishelyzetekben felmerülő igényekre adott gyorsjelentés jellegű tanulmányokban végez elemzéseket) a hurrikánok petrolkémiai ellátási láncra gyakorolt (elsődlegesen az üzemanyagellátásra) vonatkozó hatását elemezte ki, a Katrina és a Sandy hurrikánok példáján keresztül (Vugrin et al. 2011).

A tanulmány az 5. fejezetben ismertetett szempontok szerint először kvalitatív modellt épített a rendszerekre, majd felmérte és szimuláció segítségével kiértékelte a hurrikánok költségét (ideértve a kiesés és a helyreállítás költségeit is). A tanulmány megállapítása, hogy a két hurrikán által potenciálisan érintett „piaci hatás" hasonló, de lényeges különbségek voltak a tényleges rendszerszintű két értékben, a piaci helyreállás költsége és a közlekedés helyreállításának költsége tekintetében is.
A Katrina hurrikán 0,03, míg a Sandy 0.19 arányban „érte el" a lehetséges piaci kárt, azaz a potenciálisan érintett piachoz képest valójában ekkora volt a (szimulációval becsült) kárérték. A szimuláció konkrét eredményeit megvizsgálva érdemes lenne olyan modellt alkotni, amely a jellemzőket értéktartományokba sorolva veszélyeztetettségi területeket és veszélyes szcenáriókat állapít meg. Az ismertetett módszer adaptálható a magyar viszonyokra is (szélvihar, hóvihar, jégeső). Fontos kiemelni, hogy itt kifejezetten az (üzemanyag) ellátási lánc szempontjából vizsgálták a hatást, tehát például az „el nem adott üzemanyag" fogalma mellett nem kerül elő az üzemanyaghiány miatt ki nem szállított gyógyszerek társadalmi költsége. Minél átfogóbb képet szeretnénk alkotni egy-egy esemény hatásáról, annál inkább a kvalitatív modellek adhatnak választ a kérdésekre.

6.6. Okos parkolás szolgáltatás kvalitatív kockázatelemzése

Az alábbiakban bemutatjuk az *IT rendszerek teljesítménymenedzsmentjének céljai, stratégiái és megközelítési módszerei, a kritikus szolgáltatások teljesítményének tervezése* című tanulmányban mintaként leírt okos parkolási szolgáltatás egyik (magas szintű, részleges) kockázatelemzését, és példákat adunk arra, hogyan segíthető ez az előző fejezetben bemutatott, adatalapú kvalitatív modell építési módszerekkel.

6.6.1. Az okos parkolás technológiai kockázatainak bemutatása

Az okos parkolás megvalósítása során felmerülő technológiai kockázatok szemléltetésére készítettünk egy magas szintű funkcionális architektúraábrát, amely összefoglalja az elképzelt rendszer főbb funkcióit és függőségeit. Egy részletesebb, technológiaközelibb modell készíthető például az Archimate nyelvben.
A technológiai kockázatokra példa lehet a kapcsolt rendszerek teljesítményének gyengesége. Ha az előzőekben bemutatott webszolgáltatás példát továbbgondoljuk komponens szintre, akkor például egy autentikációs szolgáltatás esetén megadható, milyen módon fog a szolgáltatás a növekvő terhelésre reagálni. Természetesen a konkrét terhelési számok/küszöbértékek meghatározására szükség van a rendszer teljesítménytesztjére vagy benchmarkok futtatására, itt azonban, követve a kvalitatív modellezés alapgondolatát, elsősorban a viselkedés jellege lesz érdekes a tervezés szempontjából.
Az autentikációs szolgáltatás könnyen válhat szűk keresztmetszetté, például néhány éve az egyik legnagyobb mobilszolgáltató azért vált elérhetetlenné az Egyesült Királyságban, mert az előfizetői információkat kezelő háttéradatbázis nem viselte el a megnövekedett terhelést (lásd Halliday 2012).
Utóbbi esetben a mobilszolgáltató hibája egyben a városi kerékpárkölcsönző rendszert is súlyosan érintette, mert a rendszer az adott mobilszolgáltató-hálózaton keresztül bonyolította (volna) a fizetési tranzakciókat. Ebben az esetben tehát az adott mobilhálózat operátora nem felelt meg az informatikában „graceful degradation" néven ismert követelménynek, vagyis megnövekedett terhelés esetén nem nyújtott csökkentett szolgáltatást, hanem összeomlott, így több mint 100 állomásról nem lehetett kerékpárt kölcsönözni.
Tervezési szempontból mindez azt jelenti, hogy definiálhatók azok a karakterisztikus jellemzők, amelyek egy szolgáltatástól elvártak. Ezen jellemzők kvalitatív szempontból megfelelnek a szolgáltatás lehetséges állapotainak és az ezek között értelmezett állapotátmeneteknek.

6.6.2. Az okos parkolás társadalmi kockázatainak elemzése

Az okos parkolás mint szolgáltatás esetében az egyik nyilvánvaló kockázat a rosszindulatú felhasználási minták elterjedése, amely végső esetben ahhoz vezethet, hogy az „okos” parkolási rendszerben a „hagyományos” parkolási mintákat követő felhasználók indokolatlan hátrányt szenvednek. Ez összefügg egyben a szolgáltatás eljárásrendi kockázataival is. Amennyiben az okos parkolásban történő részvételt például speciális engedélyhez akarjuk kötni, akkor kérdéses, hogy ennek mi legyen a viszonya az egyébként a lakosok számára igényelhető helyi ingyenes parkolási engedélyekkel.
Társadalmi/környezeti kockázat lehet az is, ha az okos parkolási szolgáltatás megjelenésével olyan környéken, ahol az átmenő forgalom (többek közt a korlátozottan elérhető parkolóhelyek miatt) alacsony volt, az okos parkolás és a parkolási helyek jobb kihasználtsága miatt megnő. Ekkor a parkolás mint városi szolgáltatás átbocsátása és kihasználtsága megnő, ugyanakkor más szempontból káros hatása lehet az új szolgáltatásnak.

6.6.3. Az okos parkolás gazdasági kockázatainak elemzése

Az okos parkolás esetében gazdasági kockázat lehet egyfelől a tömegközlekedés használati mintáinak változása (például a tömegközlekedés használatának növekedése egyes területeken lelassul), másfelől a parkolási bevételek előre nem tervezett módon történő várható megnövekedése. Ez egyértelműen arra utal, hogy az okos parkolásnak van gazdasági kockázata a városüzemeltető szempontjából, ugyanakkor (függően más, például társadalmi kockázatoktól) a várható haszon összege pozitív lesz.
A parkolás gazdasági hatásainak vizsgálatához számos tényezőt figyelembe kell venni, magának a parkolási szolgáltatásnak a kialakításán túl a „hagyományos” rendszerrel történő együtt üzemeltetés költségét. Kérdés, egy adott hely lehet-e parkolható igény szerint, vagy csak az okos városi szolgáltatáson keresztül, ha igen, akkor van-e pénzbeli előnye valamelyik módszer használatának. Utóbbi esetben a gazdasági és a társadalmi kockázatok együttesen vizsgálandók.

6.6.4. Kvantitatív és kvalitatív módszerek összehasonlítása

Az alábbiakban bemutatjuk a kvantitatív és kvalitatív módszerek együttes használatának példáját az okos parkolás szolgáltatásra adaptálva (Lwin–Murayama–Mizutani 2012) megközelítését követve.
Tételezzük fel, hogy az okos parkolás szolgáltatás tervezésénél előzetes felmérést végzünk, például kameraképek, forgalomszámlálás, GPS adatok vagy a népszerű közösségi navigációs szoftverek és a tömegközlekedési szolgáltató adatai alapján. Ebben az esetben kaphatunk egyfelől egy részletes, számszerű adatokkal alátámasztott modellt, illetve vizualizációt arról, hogy mik a közlekedés szempontjából legfrekventáltabb területek, illetve mik a leggyakrabban elért úti célok az adott időszakokban.
Valójában azonban nem a konkrét helyszínhez kötött adatok lesznek a parkolástervezéskor fontosak, hanem a területek főbb sajátosságait tükröző adatok. (Gondoljunk arra, hogy a parkolás esetében nem egy adott utcasarkon akarunk parkolni, hanem egy adott környéken). Ráadásul egyéb területi/forgalomszervezési sajátosságok miatt a túl részletes modell akár megtévesztő is lehet (például egyirányú utcák eltérő forgalma miatt).

7. ÖSSZEFOGLALÁS

A kvalitatív modellezés alapgondolata és modellezési megközelítése alapvetően a rendszerről alkotott tudás strukturált, változókon és azok változásának irányán/sebességén keresztül történő leírásán alapul. A kvalitatív modellezés a rendszerben megtalálható hatásmechanizmusok leírásával bővíti a rendszerről alkotott képet. A kvalitatív modellek a leíró jelleg mellett következtetésre is alkalmasak, amikor a kvalitatív állapottér lehetséges átmeneteit állítjuk elő, azaz megadjuk, milyen irányú változás milyen állapotba juttathatja a rendszert. A kvalitatív következtetés felhasználható arra, hogy a rendszer által ténylegesen bejárt állapotteret a segítségével ellenőrizzük (igaz-e, hogy a rendszer azokat az életutakat követi, amelyek a kvalitatív modell és annak változási szabályai szerint megengedettek), illetve olyan kérdéseket megfogalmazzunk, amelyek a kvalitatív modell tudásának érvényességét ellenőrzik.
A kvalitatív modell alkalmas arra, hogy a rendszerben bekövetkező változások és egymásra hatások leírásával feltételezéseket írjon le rendszerünk főbb folyamatairól és azok együttes működéséről. A kvalitatív modellezés jellegénél fogva alkalmas lehet több rendszer együttes leírására, amelyek jellegükben hasonlóak, de konkrét paramétereik tekintetében különbözők. A kismonográfia bemutatta, hogyan alkalmazhatók a kvalitatív modellek részleges tudás megjelenítésére, és példát adtunk arra, hogyan lehet ezeket szabályozói környezetben alkalmazni.
A kvalitatív modellezés alkalmazására számos szoftvereszköz létezik, ezek közül a Garp3 nevű, leírásra és következtetése egyaránt alkalmas tervező- és elemzőeszközt mutattuk be (Bredeweg et al. 2007). A Garp3 bemutatásán keresztül példákat adtunk arra, hogy lehet a felhasználói elvárásokat és a rendszer megvalósítási alternatíváit egységesen leírni, és ezeket együttesen vizsgálni.
A kvalitatív modellek építésének folyamatában értelemszerűen fontos szerepet kapnak a rendszerről alkotott megfigyelések és egy, már létező rendszer méréseinek értelmezése. A mérésekből módszeresen lehet kvalitatív modellrészleteket alkotni, amelyek egyben alkalmasak arra, hogy egy összetett ok-hatás lánc egyes elemeit leírják. Ezen elemek elsősorban azt fejezik ki, hogy a rendszer egy jól körülhatárolható részében milyen jellegű változásokat figyeltünk meg. Az „ok-hatás” jelleg, vagyis a rendszer változóinak egymásrahatása ezen modellrészletek ismeretében vizsgálható.
A kvalitatív modellek eltekintenek a konkrét fizikai idő reprezentálásától, és nem foglalkoznak a konkrét értéktartományok vizsgálatával sem (tehát megadják, hogy ha egy rendszer terhelése gyorsuló ütemben nő, akkor a rendszer erőforrásai gyorsuló ütemben fogynak el, de nem adják meg, hogy ez pontosan mikor és hány felhasználó esetében következik be). Így a kvalitatív modellek alkalmazása során azok feltételezéseit az adatokon ellenőrizni kell, ezzel arra is alkalmasak, hogy ellenőrzési szabályok megfogalmazásán keresztül a rendszer nem megengedett/nemkívánt változásait megfogalmazzák és felderítésüket támogassák.

A teljesítménybeli változások mellett a rendszer működőképességét (**szolgáltatásbiztonságát**) is hatékonyan lehet kvalitatív modellekkel és azokon végzett következtetésekkel vizsgálni. Ebben az esetben az absztrakció (a konkrét értékek felől értéktartományok felé történő átlépés) vezérlő elve a rendszer működési tartományainak megfogalmazása, alapvetően a felhasználói elvárások és a belső működés kettősségének figyelembevételével. Kvalitatív modellek alkalmazásának egy gyakori területe a **kockázat-** és **hibaelemzés**, ahol a modellek absztrakt jellege miatt „worst case”, azaz legrosszabb eseteket is kaphatunk, amelyek a valóságban nem következhetnek be.

A kvalitatív megközelítés jó ugyanakkor egyfelől arra, hogy megadja a rendszerben bekövetkező lehetséges **szcenáriókat**, mind a hibák bekövetkezésének leírására, mind hatásuk terjedésére, ideértve az elhárítás lehetőségeit és azok hatásmechanizmusát is. Ezen szcenáriók bekövetkezésének lehetőségét a valós rendszerben ellenőrizni kell, ugyanakkor a modellezési megközelítés garantálja azt, hogy minden lehetséges helyzetet figyelembe vettünk.
Másfelől a kvalitatív megközelítés alkalmas arra is, hogy rendszerekkel kapcsolatos elvárásokat megfogalmazzunk, illetve létező rendszereket kiértékeljünk. Utóbbi esetben különösen fontos az, hogy ne csak a rendszer konkrétan kimért viselkedését, hanem annak lehetséges variációit is le tudjuk modellezni, illetve meg tudjuk határozni, melyek azok az esetek, amelyek további vizsgálatot igényelnek annak érdekében, hogy a rendszer megfelelőségét eldönthessük.
Végül a kvalitatív modellek kifejezik azokat a követelményeket, amelyeket egy szabvány vagy szakterületi előírás, esetleg jogi rendelkezés megkövetel. Így a rendszer viselkedését a kvalitatív leírásra visszavetítve ellenőrizhető annak megfelelősége. Az itt bemutatottnál mélyebb matematikai eszköztárral hasonló elvet követ a biztonságkritikus rendszerek tervezése is, ahol a rendszer működését matematikailag precíz, kiértékelhető logikai állítások formájára hozva annak megfelelősége (szintén az említett „worst case” elvet követve) egyértelműen eldönthető.
A kvalitatív modellek ezt a fajta gondolkodást vezetik be, akár elektronikus szolgáltatások tervezésében is, melynek segítségével az okos város szolgáltatásainak nemcsak mérnöki jellegű, hanem szabályozói tervezése és ellenőrzése is lehetővé válik, ideértve akár a magas szintű megfelelőségi (**compliance**) tesztek tervezését is.

IRODALOMJEGYZÉK

2009. évi 156. Korm. rendelet a közúti árufuvarozáshoz, személyszállításhoz és a közúti közlekedéshez kapcsolódó egyes rendelkezések megsértése esetén kiszabható bírságok összegéről, valamint a bírságolással összefüggő hatósági feladatokról

Ajtonyi I. – Gyuricza I. (2011): *Programozható irányítóberendezések, hálózatok és rendszerek.* www.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop425/2011_0001_531.../index.htm (Utolsó hozzáférés: 2018. 03. 01.)

Avizienis, A. – Laprie, J. C. – Randell, B. – Landwehr, C. (2004): Basic concepts and taxonomy of dependable and secure computing. *IEEE Transactions on De dable and Secure Computing Volume 1 Issue 1. pp 11–31.*

Bredeweg, B. – Bouwer, A. – Jellema, J. – Bertels, D. – Linnebank, F. F. – Liem, J. (2007): Garp3: A New Workbench for Qualitative Reasoning and Modelling. In Sleeman, D – Barker, K. (Eds.): *Proceedings of the 4th International Conference on Knowledge capture* pp. 183–184, ACM.

Chen, Y. – Ye, C. – Liu, B. – Kang, R. (2012): Status of FMECA research and engineering application. In: *Proceedings of the 2012 IEEE Conference on Prognostics and System Health Management* pp 1–9, IEEE

Cherdantseva, Y. – Burnap, P. – Blyth, A. – Eden, P. – Jones, K. – Soulsby, H. – Stoddart, K. (2016): A review of cyber security risk assessment methods for SCADA systems. *Computers & Security Volume 56. pp 1–27.*

Gonzales, M. – Riviere, A. J. – Garcia, J. J. – Markwell, S. (2013): Qualitative and Visualization Methodologies for Modeling Social-Ecological Dimensions of Regional Water Planning on the Rio Chama. *Journal of Contemporary Water Research & Education* Vol 152 Issue 1. pp 55–68.

Halliday, J. (2012): O2crash hits Boris bike scheme. *The Guardian*, https://www.theguardian.com/technology/2012/jul/12/o2-crash-hits-barclays-bike (Utolsó hozzáférés: 2018. 03. 01.)

ISO/IEC (2007): *International vocabulary of metrology — Basic and general concepts and associated terms (VIM), ISO/IEC Guide 99:2007.* https://www.iso.org/standard/45324.html (Utolsó hozzáférés: 2018. 03. 01.)

ISO/IEC (2010): *International Standard - Functional safety of electrical/electronic/ programmable electronic safety-related systems*, *61508-1:2010 series.* https://www.iec.ch/functionalsafety/standards/page2.htm (Utolsó hozzáférés: 2018. 03. 01.)

ISO/IEC/IEEE (2015): *International Standard – Systems and software engineering – System life cycle processes, ISO/IEC/IEEE 15288:2015.* https://www.iso.org/standard/63711.html [Utolsó hozzáférés: 2018.03.01.]

ISO/IEC/IEEE (2017): *International Standard – Systems and software engineering – Software life cycle processes. ISO/IEC/IEEE 12207:2017.* https://www.iso.org/standard/63712.html (Utolsó hozzáférés: 2018. 03. 01.)

ISO/IEC/IEEE (2017): *International Standard – Systems and software engineering – Life cycle management – Part 5: Software development planning, ISO/IEC/IEEE 24748-5:2017.* https://www.iso.org/standard/60062.html (Utolsó hozzáférés: 2018. 03. 01.)

Kefallinos, D. – Lambrou, M. A. – Sykas, E. (2009): An Extended Risk Assessment Model for Secure E-Government Projects. *International Journal of Electronic Government Research* Volume 5 Issue 2. Article: 5, Pages: 21.

Kocsis I (2018): *IT rendszerek teljesítménymenedzsmentjének céljai, stratégiái és megközelítési módszerei, a kritikus szolgáltatások teljesítményének tervezése.* BME-NKE Okosváros kutatóműhely. Megjelenés alatt.

Központi Statisztikai Hivatal (2011): *2011. évi népszámlálás adatállományából képzett oktatási célú mikroadatfájl* http://www.ksh.hu/nepszamlalas/oktatasi_mikroadat (Utolsó hozzáférés: 2018. 03. 01.)

Liem, J. (2005): *Qualitative Reasoning and the Web Ontology Language. PhD disszertáció, Student Number: 9924728, University of Amsterdam, Hollandia.*

Lopez, A. (2016): Vulnerability of Airports on Climate Change: An Assessment Methodology. *Transportation Research Procedia* Volume 14. pp 24–31.

Lwin, K. – Murayama, Y. – Mizutani, C. (2012): Quantitative versus Qualitative Geospatial Data in Spatial Modelling and Decision Making. *Journal of Geographic Information System* Vol. 4 No.3. pp 237–241.

Palazzi, E. – Currò, F. – Lunghi, E. – Fabiano, B. (2002): A framework for risk assessment and decision-making strategies in dangerous good transportation. *Journal of Hazardous Materials* Volume 93 Issue 1. pp 1–15.

QRM (é.n.): *Qualitative Reasoning and Modelling (QRM) portal* https://ivi.fnwi.uva.nl/tcs/QRgroup/QRM/ (Utolsó hozzáférés: 2018. 03. 01.)

Ralston, P. – Graham, J. – Hieb, J. (2007): Cyber security risk assessment for SCADA and DCS networks. *ISA Transactions Volume 46 Issue 4. pp 583–594.*

Reckien, D. – Esienack, K. – LÜDEKE, Matthias (2011): Land Consumption by Urban Sprawl — A New Approach to Deduce Urban Development Scenarios from Actors' Preferences. *Environmental Modeling & Assessment*, 16, Article number: 465(2011). DOI: 10.1007/s10666-011-9254-6

Rossi, P. (2007): How to link the qualitative and the quantitative risk assessment. *PMI® Global Congress 2007*, Budapest, Hungary. Project Management Institute, Newton Square, PA, USA. Elérhető: https://www.pmi.org/learning/library/link-qualitative-quantitative-risk-assessment-7375 (Utolsó hozzáférés: 2018. 03. 01.)

Tixier, J. – Dusserre, G. – Salvi, O. – Gaston, D. (2002): Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants. *Journal of Loss Prevention in the Process Industries* Volume 15 Issue 4. pp 291–303.

Van Harmelen, F. – Lifschitz, V. – Porter, B., Eds. (2008): *Handbook of Knowledge Representation*. Vol. 1., Elsevier Science

Vugrin, E. D – Warren, D. E. – Ehlen, M. A (2011): A resilience assessment framework for infrastructure and economic systems: Quantitative and qualitative resilience analysis of petrochemical supply chains to a hurricane. *Process Safety Progress* **Volume 30 Issue 3. pp 280–**290.

Wenye, W. – Zhuo, L. (2012): Cyber security in the Smart Grid: Survey and challenges. *Computer Networks* Volume 57 Issue 5. pp 1344–1371.

Ziejka, M. – Smolinski, H. – Golda, P. (2016): Qualitative and Quantitave Risk Evaluation on the Basis of Military Aviation Event Analysis*. Research Works of Air Force Institute of Technology* Volume 38, Issue 1. pp 85–94.

A Nemzeti Közszolgálati Egyetem kiadványa

Kiadó:

Nemzeti Közszolgálati Egyetem
Közigazgatási Továbbképzési Intézet
www.uni-nke.hu

Felelős kiadó:
Prof. Dr. Kis Norbert rektorhelyettes
Címe: 1083 Budapest, Üllői út 82.

Kiadói szerkesztő:
Dorogi Katalin

Tördelőszerkesztő:
Friebert Máté

ISBN 978-963-498-396-5 (PDF)